

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2017

**KONFERENCIA
ELŐADÁSAI**

Nyíregyháza, 2017. június 01.

**Szerkesztette:
Edited by**

Dr. Bodzás Sándor

Kiadja:

**Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága**

ISBN 978-963-7064-35-7

Debrecen 2017

A konferencia szervezői:

*A Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság
(DAB) Műszaki Szakbizottsága,*

a Nyíregyházi Egyetem

A konferencia fővédnöke:

Dr. Kiss Ferenc

a Nyíregyházi Egyetem rektorhelyettese

A Konferencia Programbizottsága:

Ráthy Istvánné Dr., elnök

Dr. Bodzás Sándor, titkár

Dr. Békési Bertold	Dr. Turai Endre	Dr. Kovács Zoltán
Dr. Szigeti Ferenc	Dr. Szegedi Péter	Dr. Musinszki Zoltán
Dr. Kerekes Benedek	Dr. Lengyel Antal	Dr. Dezső Gergely
Dr. Dudás László	Dr. Pokorádi László	Dr. Poós Tibor
Dr. Tóth Lajos	Dr. Lámer Géza	Dr. Battáné Dr. Gindert – Kele Ágnes
Dr. Molnár Viktor	Dr. Hagymássy Zoltán	Dr. Czédli Herta

**A konferencia kiadvány összeállításában segítséget nyújtottak a
Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszékéről:**

Balsa Péter tanszéki mérnök,

Békési Zsolt tanársegéd,

Nemes Csaba, Nemes Dániel, Neisz Dávid demonstrátorok

TARTALOMJEGYZÉK

TOKAJI Imre, ANTAL Tamás, KERÉKES Benedek, SZŐLLŐSI István A KONVEKTÍV VÍZELVONÁS HATÁSA A SZÁRAZTÉSZTA FŐBB FIZIKAI PARAMÉTEREIRE	1
BALLA Zoltán, TAMÁS András, VÁNTUS András, HAGYMÁSSY Zoltán KÜLÖNBÖZŐ MŰTRÁGYÁK FIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA	12
BALSA Péter, GÉRESI Zoltán Gergő, BODZÁS Sándor METSZŐKEREKES FOGVÉSÉS SZÁMÍTÓGÉPES TECHNOLÓGIAI TERVEZÉSE	18
BERÉNYI László FELNŐTTKÉPZÉSI MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI FELADATOK SZERVEZÉSÉNEK EGYES KÉRDÉSEI	25
BODNÁR István NAPELEM KARAKTERISZTIKÁK HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT	32
BUDAY Tamás A DEBRECENI IVÓVÍZ- ÉS MEGFIGYELŐ KUTAK ADATSORAIBÓL MEGHATÁROZHATÓ HŐMÉRSÉKLET-MÉLYSÉG ÖSSZEFÜGGÉSEK	40
CZÉDLI Herta, VARGA Zsolt HALLÉPCSŐK MŰSZAKI ÉS ÖKOLÓGIAI ELEMZÉSE	48
DARABOS Enikő, TÓTH Márton, LÉNÁRT László JELLEGGÖRBEK ALKALMAZÁSA LASSAN ÉS GYORSAN UTÁNPÓTLÓDÓ KÉSZLETEK HATÁRAINA MEGÁLLAPÍTÁSÁRA A BÜKK HEGYSÉGBEN	51
DEMETER Andrea AZ ÁLLAM FELSŐOKTATÁSRA FORDÍTOTT KIADÁSAINAK, MINT BERUHÁZÁS MEGTÉRÜLSÉNEK A VIZSGÁLATA	60
DEZSŐ Gergely, SZIGETI Ferenc, KÓSA Péter A GYÁRTÁSI ORIENTÁCIÓ HATÁSA AZ ANYAG HÚZÁSSAL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁRA ADDITÍV GYÁRTÁSSAL KÉSZÍTETT ALKATRÉSZEK ESETÉN	68

DÓCS Roland, JOBBIK Anita TERMÉSZETES PORÓZUS RENDSZEREKBE ÁRAMLÓ FOLYADÉKOK ESETÉBEN JELENTKEZŐ NYOMÁSVESZTESÉGEK VIZSGÁLATA	74
DUDÁS László, ARDAY Viktor FORGÓDUGATTYÚS BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ELEMZÉSE A HAGYOMÁNYOS MOTOROKKAL ÖSSZEVETVE	82
ERDŐSY Dániel, TÓTH Lajos ZENEI HANGOK SZÁMÍTÓGÉPES FELISMERÉSI MÓDSZEREI	90
FALUDI Tamás, MOLNÁR Viktor AZ ELLÁTÁSILÁNC-KOORDINÁCIÓHOZ KAPCSOLÓDÓ STRATÉGIAI DÖNTÉSTÁOGATÁSI TERÜLETEK	98
FARGÓ ENIKŐ, BUDAY TAMÁS KÖZETEK HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA TŰSZENZORRAL	105
FEHÉR Krisztina, KAVAS László, ÓVÁRI Gyula, DVARGA Béla ÚJ MENTŐRENDSZEREK ÉS ELJÁRÁSOK AZ IRÁNYÍTHATATLANNÁ VÁLT REPÜLŐESKÖZÖK VÉSZEZHAGYÁSÁRA	112
FENYVESI Csaba, POKORÁDI László TERVELLENŐRZÉSI ESETTANULMÁNYOK ELEMZÉSE AZ ERŐMŰVI BIZTONSÁG SZEMPONTÁBÓL	120
HEGEDŰS Krisztián VÁLTOZÁSOK A REPÜLŐGÉP MEGHAJTÁSOK TERÜLETÉN	129
ILYÉS Csaba, ILYÉSNÉ MOLNÁR Emese CSALÁDI VÁLLALKOZÁSOK PÉNZÜGYI MAGATARTÁS FORMÁI ÉS A GENERÁCIÓVÁLTÁS	137
ILYÉS Csaba, TURAI Endre, SZŰCS Péter 110 ÉVES CSAPADÉKADATOK VIZSGÁLATA SPEKTRÁLIS ANALÍZISSSEL ÉS WAVELET- ELEMZÉSSL	146
ISKI Patrik, BODNÁR István FÁS SZÁRÚ BIOMASSZÁBÓL TÖRTÉNŐ VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS MODELLEZÉSE ÉS HATÉKONYSÁGVIZSGÁLATA	154
JANIK József, VERMES Pál A KARBANTARTÁS MINT ÉRTÉKTEREMTŐ TEVÉKENYSÉG	162

KÁNTOR Tamás, ORLICZKI Máté ERŐMŰI PERNYÉK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA A GEOTECHNIKAI TALAJJAVÍTÁSBAN	172
KEREKES Benedek A NYÍREGYHÁZI EGYETEM KUTATÁSI ÉS FEJLESZTÉSI TERÜLETEI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MŰSZAKI TUDOMÁNYOKRA	180
KEREKES ATTILA A FŰTÉSI ENERGIAFOGYASZTÁS ÉRZÉKENYSÉGE AZ ÉGHAJLATI TÉNYEZŐKRE	188
KINCSES Dávid, MEZEI Lajos, HAJDU Sándor JÁRMŰFEJLESZTÉST SEGÍTŐ KERÉKDINAMIKAI MODELLEK VIZSGÁLATA	196
KISS János, BODZÁS Sándor VILLANYBOJLER MEGFOGÓ SZERKEZET TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE	204
KOBA Máté MENTÉSI, FELDERÍTÉSI FELADATOKAT SEGÍTŐ ROBOTREPÜLŐGÉP BEMUTATÁSA	212
KOMPÁR László, SZŰCS Péter, PALCSU László, DEÁK József UTÁNPÓTLÓDÁSI VIZSGÁLATOK AZ ALFÖLDÖN	220
KORONVÁRY Péter, SZEGEDI Péter A KOCKÁZATMENEDZSMENT ÉS A DRÓNOK GONDOLATOK A TECHNOLÓGIAI FEJLŐDÉS MARGÓJÁRA	228
KOVÁCS Enikő PÉNZÜGYI-GAZDASÁGI SZEMLÉLET ISKOLAI KÖRNYEZETBEN	234
KOZMA Ferenc, VARGA Ferenc CASE HIDRAULIKUS KOTRÓ GÉMTÖRÉSÉNEK VIZSGÁLATA	242
LÁMER Géza KONTINUUM, ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÉS AZ ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÁLTALÁNOSÍTÁSA	249
LÁMER Géza AZ ERŐKRE VONATKOZÓ AXIÓMÁK A MECHANIKÁBAN	277

LENGYEL Tamás, JOBBIK Anita KOMBINÁLT ANALÍZIS RENDSZER A PROPPANT KIVÁLASZTÁS OPTIMALIZÁLÁSÁRA	295
MOLNÁR András, CSABAY Zsolt, FAZEKAS Lajos, PÁLINKÁS Sándor, GINDERT – KELE Ágnes TERMIKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT NI- ALAPÚ RÉTEGEK ÚJRAOLVASZTÁSA LÁNGGAL ÉS A BEVONAT VIZSGÁLATA	304
MUSINSZKI Zoltán GAZDASÁGI ISMERETEK A MŰSZAKI FELSOÓKTATÁSBAN	311
NÁDASI Endre, TURAI Endre, SZABÓ Norbert Péter MAGNETOTELLURIKUS ADATOK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA	318
NAGY Lajos, NAGY Orsolya Bernadett A TERMELÉS ÉS A KÉSZLETEK EGYIDEJŰ OPTIMALIZÁLÁSA SZIMULTÁN LINEÁRIS PROGRAMOZÁSI MODELLEL	325
NEMES Csaba, BODZÁS Sándor EGYENES ESZTERGAKÉS ÉLGEOMETRIÁJÁNAK TERVEZÉSE, MODELLEZÉSE ÉS VIZSGÁLATA	333
NÉMETH Roland A REPÜLŐGÉP HAJTÓMŰVEK ÉGŐTEREIBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK ELEMZÉSE	340
NYIRI Gábor, SZŰCS Péter, ZÁKÁNYI Balázs AZ MNV2 MODUL ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA CSÁPOS KUTAK HIDRAULIKAI MODELLEZÉSÉRE	348
PAJKOS Dorottya, KABAI Dóra MENEDZSMENT SZEREPE A DE-MK TEAM ALTERNATÍV HAJTÁSÚ JÁRMŰÉPÍTÉSÉBEN	355
PÁNYA Nándor A DRÓNOK RAJOKBAN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSA	361
PERLAKI Attila, DUDÁS László EGY ÚJ SZEMANTIKUS ELVŰ SZOFTVERALKALMAZÁS - AZ INVERZ SZÓTÁR	371

POKORÁDI László, ÁGOSTON Gábor, FENYVESI Csaba KARBANTARTÓ SZAKEMBEREK VÉLEMÉNYÉNEK ELEMZÉSE A PÁROS ÖSSZEHASONLÍTÁS MÓDSZERÉVEL	379
POKORÁDI László, FARKAS Levente KANONIKUS RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁG ELEMZÉSI MÓDSZEREINEK SZEMLÉLTETÉSE	387
POÓS Tibor, TAMÁS Kornél, KATONA Márton, HORVÁTH Dániel SZEMCSÉS ANYAGOK KEVERÉSI TELJESÍTMÉNYIGÉNYE KEVERŐS DOBSZÁRÍTÓBAN	395
POÓS Tibor, VARJU Evelin PÁROLGÁS JELENSÉGE GÁZ-FOLYADÉK ÉRINTKEZTETŐKBEN	403
POÓS Tibor, HORVÁTH Dániel, TAMÁS Kornél DISZKRÉT ELEMES MÓDSZERREL ÉS MÉRÉSEL MEGHATÁROZOTT RÉZSÚSZÖGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	411
POÓS Tibor, SZABÓ Viktor, CSÓKA Bendegúz MEZŐGAZDASÁGI SZEMCSÉS ANYAGOK SZORPCIÓS IZOTERMÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA	419
PREKOB Ádám, SIKORA Emőke, VANYOREK László MAG-HÉJ SZERKEZETŰ SZÉN NANOCSSÓ ALAPÚ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE	427
PUSZTAI Patrik, JOBBIK Anita MICRO- ÉS NANOMÉRETŰ PÓRUSTEREKBE TÖRTÉNŐ GÁZÁRAMLÁS VIZSGÁLATA	435
RÁTHY Istvánné, PINKE Péter SZÁLERŐSÍTÉSŰ MŰANYAGOK FRÖCCSÖNTHETŐSÉGI VIZSGÁLATAI	443
RAVAI-NAGY Sándor, SZÁZVAI Attila, SZIGETI Ferenc, PAY Gábor László IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEI KRIOGÉN TECHNOLÓGIÁVAL	453
REHO Sándor, L. SZABÓ Gábor HŐENERGIAIGÉNY VIZSGÁLATA EGY MODEL ÉPÜLETNÉL HŐFOKGYAKORISÁGI GÖRBÉVEL	459

ROMÁN Krisztina, ZSOLDOS Gabriella ALIFÁS SZÉNHIDROGÉNNEK ELLENÁLLÓ LÁGY PVC GRANULÁTUM REOLÓGIAI VIZSGÁLATA	466
ROZGONYI Valentin, L. SZABÓ Gábor, BODÓ Béla A FŰTÉS-HŰTÉSRE HASZNÁLT KÉT ÉS NÉGYCSÖVES FAN-COIL RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	470
SIKORA Emőke, PREKOB Ádám, VANYOREK László FORMÁZOTT NANOSZERKEZETŰ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE	476
SKRIBANEK Ádám, BODNÁR István, BLÁGA Csaba KAZÁNSZIVATTYÚ SZÜNETMENTES ENERGIAELLÁTÁSÁNAK BIZTOSÍTÁSA NAPELEMÉK KÖZBEIKTATÁSÁVAL	487
SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ SZOFTVER FEJLESZTÉSE AKUSZTIKUS HULLÁMSEBESSÉGEK MÉRÉSÉRE KÖZETMINTÁKON	495
SZEGEDI Attila, LENGYEL Antal TRAKTOR HAJTÁSLÁNC VESZESÉGEINEK VIZSGÁLATA	503
SZEGEDI Péter, BÉKÉSI Bertold A DRÓNOK KATONAI ALKALMAZÁSA	511
TAKÁCS Attila HÁZI GYÁRTÁSÚ FPV UAV	517
TAMÁSI Kinga, HORVÁTH Balázs, ZSOLDOS Gabriella KÜLÖNBÖZŐ GYÁRTÁSI FELTÉTELEKKEL ELŐ ÁLLÍTOTT EVA KOPOLIMEREK SZERKEZETVÁLTOZÁSAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA FTIR, DSC ÉS DMA MÓDSZEREKKEL	525
TIRCSI Hajnal A MAGYAR HONVÉDSÉG VEZETŐ KIVÁLASZTÁSI ÉS FELKÉSZÍTÉSI RENDSZERÉNEK INNOVÁCIÓJA A TECHNIKAI FEJLŐDÉS TÜKRÉBEN	533
TOMORI Zoltán, SZENTE József, VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella AZ OPTIMÁLIS PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA A KEDVEZŐ KENÉS SZEMPONTJÁBÓL	542

TOMORI Zoltán, SZENTE József, VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella A SÚRLÓDÁSI VESZTESÉG SZEMPONTJÁBÓL OPTIMÁLIS PROFILELTOLÁS- TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA	550
TÓTH Dániel, TÓTH Sándor Gergő, SZILÁGYI Attila, TAKÁCS György CSAPÁGYVIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÁTTEKINTÉSE	558
TÓTH Lajos, NÉMETH Sándor ICL8038 TÍPUSÚ PRECÍZIÓS HULLÁMFORMA GENERÁTOR FELÉPÍTÉSÉNEK ÉS MŰKÖDÉSÉNEK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA	563
TRUZZI Alexandra, BODNÁR Ildikó, VARGA József OXIDATÍV LEBONTÁSRA IRÁNYULÓ MÓDSZERFEJLESZTÉSEK BIOLÓGIAILAG NEM VAGY NEHEZEN BONTHATÓ SZERVES ANYAGOKKAL TERHELT FELSZÍNI ÉS FELSZÍN ALATTI VIZEK IN SITU TISZTÍTÁSÁRA	571
TUMIK Ábel, MOLNÁR Viktor SORBANÁLLÁSI MODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE, ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI	579
TURAI Endre, SZILVÁSI Marcell, NÁDASI Endre, ABORDÁN Armand REKULTIVÁLT HULLADÉKLERAKÓ BELSŐ SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA GEOELEKTROMOS MÓDSZEREKKEL	586
VÁNTUS András, CSATÁRI Nándor, BALLA Zoltán A MŰSZAKI FEJLESZTÉSEK HATÁSA AZ EREDMÉNYESSÉGRE	594
VARGA Gyula Gábor, JOBBIK Anita A FÚRÁSI ISZAPOK SZEREPE ÉS ALKALMAZÁSI HATÁRAI HPHT VISZONYOK KÖZÖTT	601
VARGA Zsolt, CZÉDLI Herta 0,1 M/PIXEL FELBONTÁSÚ ORTOFOTÓ PONTOSSÁGVIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ FELBONTÁSÚ DDM-EK ALAPJÁN	609
ZÁKÁNYI Balázs, SZÉKELY István, ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta HORMONRENDSZERT BEFOLYÁSOLÓ ANYAG (EDC) ÁTSZIVÁRGÁSÁNAK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TALAJMINTÁKON	615
A KONFERENCIÁN KÉSZÜLT FÉNYKÉPEK GYŰJTEMÉNYE	622

A KONVEKTÍV VÍZELVONÁS HATÁSA A SZÁRAZTÉSZTA FŐBB FIZIKAI PARAMÉTEREIRE

THE EFFECT OF CONVECTIVE DEHYDRATION ON CAPITAL PHYSICAL PARAMETERS OF DRY PASTA

TOKAJI Imre¹, ANTAL Tamás², KERÉKES Benedek³, SZÖLLŐSI István⁴

¹BSc., ²főiskolai docens, antal.tamas@nye.hu, ³egyetemi tanár, ⁴főiskolai tanár,
Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 31/b.

Kivonat: A tészta termékeknek nagyon fontos szerepe van az emberi táplálkozásban, szinte minden nap jelen van az étkezésben. A szárítás kritikus állomás a száraztészta előállítási folyamatában, mely meghatározza a végtermék minőségét. Több példa is megerősíti, hogy a szárítási folyamat erős hatással van a tészta fizikai és mechanikai tulajdonságaira. Nem ismeretlen, hogy a meleg levegős szárítás – különösen a magas hőmérséklet és a hosszú szárítási idő – a szárított téstatermék színét, ízét, állományát és a rehidrációs kapacitását megváltoztatja.

Ezért a tanulmány célja egyrészt megvizsgálni az ipari tálcás szárítóval dehidrált háromféle tészta szárítási karakterisztikáját. Másrészt célunk jellemezni a már szárított "aranylaska", "szélesmetélt" és "lasagne" tészták főbb fizikai tulajdonságait (szín, állomány és zsugorodás), spektrofotométer, állományvizsgáló és digitális tolmérő segítségével. Megállapítottuk, hogy a vizsgált száraztészta esetében a legintenzívebb vízelvonás az előszárítási szakaszban volt. A 60°C-os meleg levegő hatására a tésztánál 6-14%-os zsugorodás, a felület keményedése, a szín enyhe fakulása és a sárgasági és pirossági értékek kismértékű emelkedése volt megfigyelhető.

Kulcsszavak: száraztészta, nedvességtartalom, zsugorodás, szín, állomány

Abstract: Pasta products have a very important factor in human nutrition, almost daily presence in feeding. Drying is the critical step in the dry pasta production process, which is determines the final product quality. Many cases confirm that the drying process has a strong influence on the physical and mechanical properties of pasta. It is also known that hot air drying – especially high temperature and longer drying time – can cause change in color, flavor, texture and rehydration capacity of dehydrated pasta product.

Therefore, the objectives of this study were to examine the drying characteristics of three type's pastas dried by hot air (in industrial tray dryer) and to characterize capital physical properties (color, texture and shrinkage) of the dried "aranylaska", "szélesmetélt" and "lasagne" by using a spectrophotometer, texture analyzer and digital caliper. It was stated that the most intensive dehydration in the case of examined dry pasta was in the pre-drying section. Due to hot air at 60°C was observed at pasta the shrinkage between 6-14%, the surface hardening, the moderate fade of color and the small-scale rise of yellow and reddish values.

Keywords: dry pasta, moisture content, shrinkage, color, texture

1. BEVEZETÉS

A tojásos tészták készítésének és fogyasztásának Magyarországon és a magyar lakta vidékeken nagy hagyománya van [4]. A száraztészta alapvető élelmiszerré vált, napjaink étkezéseinek szerves, mindennapi része. A tészta előállításának technológiája rengeteget fejlődött az elmúlt évek során. A nagyobb gyárak teljesen automatizált gépsorai szinte kiküszöbölik az emberi munkaeőrt, ugyanis ezek a gépek a tészta gyártástechnológiájának egyre több lépcsőfokát le tudják fedni a betáplált programoknak köszönhetően. Az évtizedek során a szárítási technológia is óriásit fejlődött, ezért napjainkban nélkülözhetetlen az olyan szárítóberendezés, mely egyenletesen és kíméletesen szárítja a készterméket [5].

A tészta szárítása nagy körültekintést és szakértelmet igényel. A téstatermék minősége nagymértékben függ az alkalmazott szárítási technológián. DeTemmerman et al. [3] kimutatta, hogy a szárítási folyamat erős hatással van a száraztészta organoleptikus (szín és

íz) és mechanikai (textura) tulajdonságaira. Emellett a hazai gyakorlatban nem jellemző, hogy a szárítás alatt és a végén műszeresen megvizsgálják a tészta fontosabb minőségi paramétereit.

Ennek megfontolásából vizsgáltuk meg a három tésztafajta – a „szélesmetélt”, a „lasagne” és az „aranylaska” – főbb fizikai paramétereit a szárítási folyamat előtt és a vízlevonási különböző szakaszaiban. Ezen kívül jellemeztük a teljes vízlevonási folyamatot is.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben az alapanyagon kívül a szárítókamra, a termék nedvességtartalom, és a konvektív szárítási eljárással előállított késztermék fizikai jellemzők vizsgálati módszerének ismertetésére vállalkozunk.

2.1. A tészta alapanyag előállítása

A Nyír-Aranytojás Kft. által gyártott háromféle tésztafajta szárítási és minőségi vizsgálatát végeztük el. Ezek a tésztafajták a 4 tojásos „szélesmetélt”, a 8 tojásos „lasagne”, és a 8 tojásos „aranylaska”. A kétféle 8 tojásos tészta ugyanabból az alapanyagból készül, előbbi vágógéppel, és kézi vágással kerül a szárítóba, utóbbi vágógép segítségével készül. A 4 tojásos „szélesmetélt” matricán (tésztaalakító szerszám) keresztül történő préseléssel jön létre. Itt meg kell jegyeznünk, hogy a vállalat a tojásos készítményei gyártásához I. osztályú friss tyúktojást használ.

2.2. Ipari szárítókamra bemutatása

A szárítás lényege, hogy a tésztából elvonjuk a mikroorganizmusok életműködéséhez szükséges vizet, továbbá a művelet során olyan tulajdonságok kialakítása a cél, amelyek a további kezelés során jelentkező hatásoknak ellenáll.

A szárításra előkészített nyers tésztát tálcákra helyezik, a tálcákat pedig a szárító-kocsikra rakják. A megtöltött kocsikat a szárító kamrába szállítják és a tészta típusának megfelelő program segítségével megkezdődik a vízlevonás. Mindhárom vizsgálat alá vont tésztatípust először 3 órán keresztül 40°C-on szárítják (előszárítás), majd ezt követi a 13 órás végszárítás 60°C-os hőntartással.

A szárítókamra fala téglából készült, vakolt kivitelű, az aljzat simított beton, nyílászáró pedig műanyagból van. A szárító belsejében (tetején) található a gőzfűtéssel táplált fűtőtest és a meleg levegő keringtetésére és egyenletes eloszlására hivatott ventilátor. A tésztából távozó nedvességet páraelszívó szállítja ki a szárítótérből.

2.3. Nedvességtartalom meghatározása

A tészták víztartalmának meghatározására a 105°C-os térben, súlyállandóságig végzett szárítási módszerek a legelterjedtebbek. A nedves-, a szárítás különböző szakaszából kivett minta és a késztermék nedvességtartalmát szárítószekrényben határoztuk meg (LP-302, Labor-Mix, Budapest).

2.4. Zsugorodásvizsgálat

A száraztészta előállítás során a nyers tézsta a végtermék kialakulásáig jelentős mértékű vízelvonáson megy keresztül, mely a méretét lényegesen befolyásolja. A szárításnak köszönhetően a tézsta hossz-, és keresztirányú mérete változik.

A tézsta zsugorodásának vizsgálatához skálázott mérőszalagot és digitális tolómérőt (Burg Wächter PRECISE PS 150mm, Burg-Wächter KG, Németország) használtunk fel.

2.5. Termék textúrájának és színének meghatározására alkalmas módszerek

A nedves-, a szárítás különböző szakaszából kivett minta és a késztermék állományvizsgálata, vagy más néven textura elemzése Brookfield CT3-4500 (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Egyesült Államok) típusú keménységmérővel volt meghatározva. Roncsolásmentes felületi keménységmérés módszerét vagy más néven kompressziós vizsgálati eljárást alkalmaztunk.

A keménységmérő berendezést az alábbi specifikációkkal üzemeltettük: a terhelési tartomány 0-1000 g, a munkasebesség 10 mm/s, a próbafej átmérője 4 mm, a próbafej haladási távolsága 50 mm, a penetráció maximális értéke az anyagban 0,1 mm.

Az száraztészta előállítás minőségi ellenőrzésének elengedhetetlen része az érzékszervi vizsgálat, amikor szemrevételezés alapján megállapítják a késztermék színét. A termék színének műszerek segítségével történő meghatározásával sokkal pontosabb eredményt kapunk. A spektroszkópián alapuló színmérés lényege, hogy az L^* , a^* és b^* színkoordinátákat egy térbeli koordináta-rendszerben helyezi el a rendszer. Az X, Y és Z színösszetevők spektrofotométer segítségével állapítható meg és ezekből számíthatók a színkoordináták értékei.

A szárítás különböző szakaszából kivett tézstaminták színmérését ColorLite SPH 860 típusú spektrofotométerrel (ColorLite GmbH, Németország) határoztuk meg $CIE L^*a^*b^*$ rendszerben. A kísérletek során fehér etalonnal történő kalibrálást követően a tézsták felületén véletlenszerűen mértük a színjellemzőket.

2.6. Statisztikai analízis

IBM SPSS Statistics 21 (IBM, USA) programcsomagot felhasználva matematikai statisztikai vizsgálatot végeztünk el. Egyutas variancia-analízissel (ANOVA, Duncan teszt) mutattuk ki, hogy van-e szignifikáns különbség a különböző szárítási szakaszban lévő tézstafajták minősége között.

A vizsgálatokat minden tézstatípus esetében három alkalommal végeztük el, és az átlagértékeket prezentáltuk ebben a cikkben.

3. EREDMÉNYEK

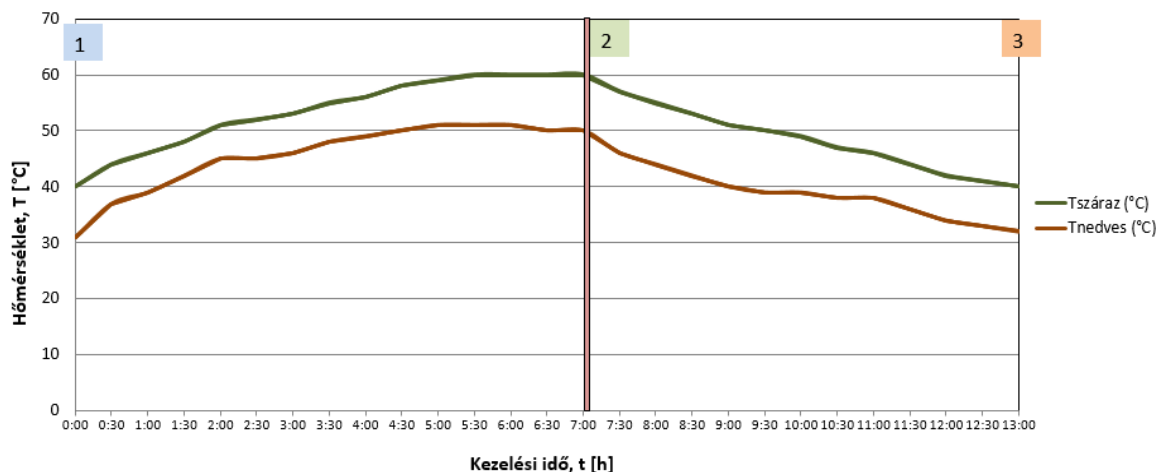
3.1. A tézsta szárításának vizsgálata

A szárítási folyamat során mérni kell a levegő relatív páratartalmát és a hőmérsékletét és ezeket a paramétereket szabályozni is szükséges, ún. pszichometrikus elv alapján. A tézstaszárítási procedúra két fő részre bontható: előszárítás és végszárítás. Az előszárítási (feltöltő) szakasz során alkalmazott szárító levegő hőmérséklete 40 °C, a levegő relatív páratartalma pedig 62%-os. Az előszárítás 3 órát vett igénybe.

Az ún. végszárításon (13 órás program) alkalmazott levegő hőmérsékletének (nedves és száraz) lefutását az 1. ábrán figyelhetjük meg.

A szárítóközeg hőmérséklete (száraz) a szárítás elején (0-5h között) fokozatosan növekszik 40°C-ról 60°C-ra, majd ezt követi a 2 órás hőntartási szakasz 60°C-on. A szárítás utolsó szakaszában (7-13h) pedig a levegő hőmérséklete fokozatosan csökken 40°C-ra - a teremlevegő hőmérsékletére.

A szárítókamrában legalább két db érzékelőt helyeznek el a levegő aktuális páratartalmának mérésére, az egyik a száraz hőmérő és a másik az ún. nedves hőmérő. A száraz és nedves hőmérők által mért hőmérséklet közötti hőfok különbség jellemzi a relatív páratartalmat, és ennek ismeretében a pszichrométer táblázat segítségével meghatározható levegő relatív nedvességtartalma. Ily módon a levegő relatív páratartalma a teljes végszáritási ciklus alatt 70%-ról indult és 50%-os páratartalomra csökkent fokozatosan.



Jelmagyarázat: Mintavételi helyek: 1-előszáritás után, 2-hőntartás után, 3-a száritás végén

1. ábra. A 13 órás száritási program: száraz- és nedves léghőmérséklet lefutása

Az 1. táblázat tájékoztat a vizsgált tésztafélék víztartalmáról (nedves bázisban kifejezve, w/w), a teljes száritás különböző fázisaiban.

1. Táblázat A tészták nedvességtartalmának értékei a száritás különböző szakaszaiban

Fázis	Szélesmetélt	Lasagne	Aranylaska
	Nedvességtartalom (%) [w/w]		
Nyers tészta (0)	29,87	35,06	33,02
3 órás előszáritás után (1)	17,03	18,2	17,61
60°C-os hőntartást követően (2)	13,76	14,13	13,89
Késztermék, száritás vége (3)	12,67	12,79	12,35

A mérési eredményeink szerint a „szélesmetélt”, a „lasagne” és az „aranylaska” víztartalmának közel felét elvesztette az előszáritási szakasz után, mely értékek szinkronban vannak a szakirodalmi forrásokkal [1]. A végszáritás alatt (2-3 pontok) már csak kis mértékben csökkent a tészták víztartalma (max. 5,4%).

A tészta száritása az egyensúlyi nedvességtartalom beálltaig történt, azaz a száritó levegőben lévő vízgőz parciális nyomása megegyezett a tészta felületén lévő nedvesség gőznyomásával. A késztermékek nedvességtartalmi értékei 12-13% között ingadoznak, mely adatok megfelelnek az elvárásoknak [5].

3.2. A száraztészta zsugorodásának elemzése

A tészta részecskéi között a vízleadás hatására a terek csökkennek, ezáltal a tészta mérete, térfogata változik, azaz zsugorodik. A zsugorodás mértékének meghatározása a száraztészta testen keresztirányban és hosszirányban történt meg.

Keresztirányú zsugorodás nem kimutatható műszeresen (tolómérővel) a „szélesmetélt” és az „aranylaska” esetében, mivel a tészta szélessége kicsi, 0,6-0,7 cm közötti. A szárítás hatására bekövetkező „lasagne” (lebbencs) tészta keresztirányú változását a 2. táblázat szemlélteti.

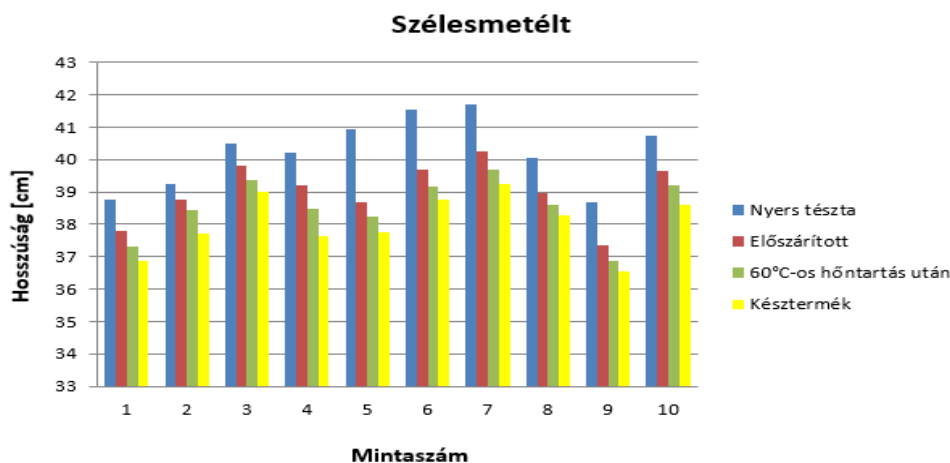
2. Táblázat A „lasagne” tészta keresztirányú méretcsökkenése a szárítás különböző fázisában

Fázis	Átlag méret [cm]	Keresztirányú zsugorodás [%]
	Lasagne	
Nyers tészta (0) - kontrol	5,29	-
3 órás előszárítás után (1)	4,82	8,88 ^a
60°C-os hőntartást követően (2)	4,76	1,24 ^c
Késztermék (3)	4,62	2,54 ^b
Összesen:		12,66

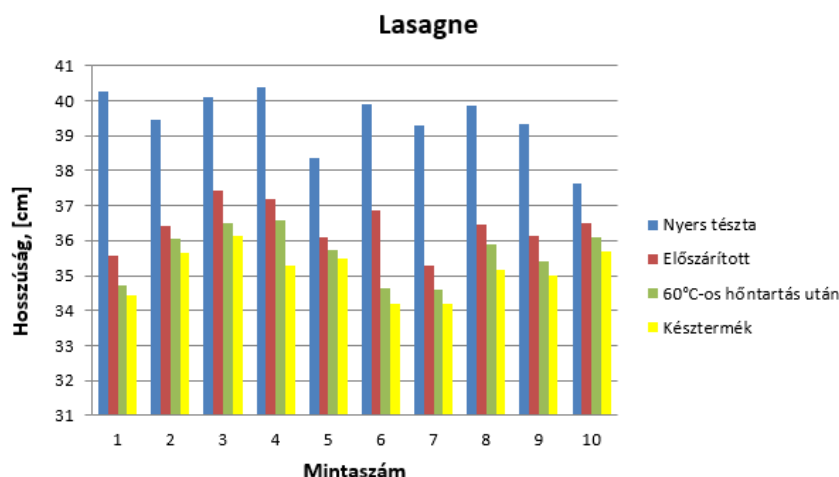
Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel.

A 2. táblázatból megállapítható, hogy a lebbencs tészta legnagyobb mértékű ($p < 0,05$) keresztirányú méretcsökkenése az előszárítás következtében detektálható. A vizsgált tésztatermék mire eléri végső formáját mindösszesen 12,66%-os keresztirányú zsugorodáson megy keresztül a nyersanyaghoz viszonyítva.

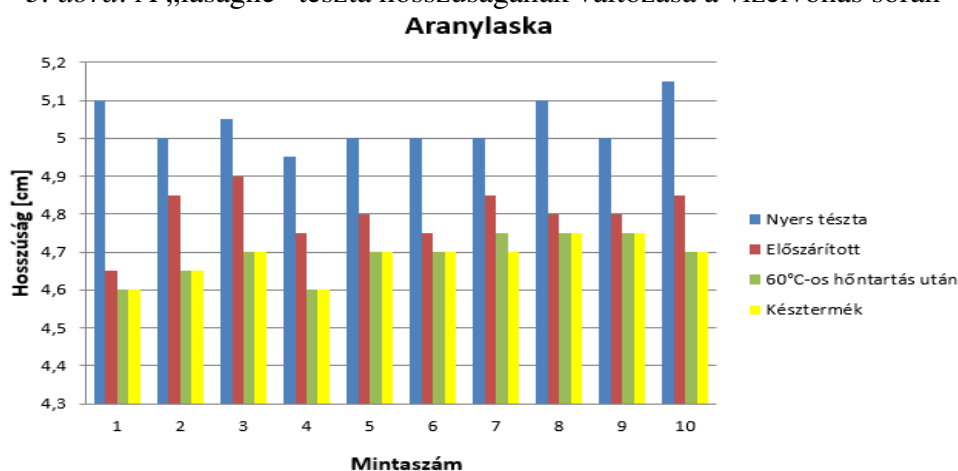
A 2-4. ábrák tájékoztatnak a „szélesmetélt”, a „lasagne” és az „aranylaska” hosszirányú méretcsökkenéséről.



2. ábra. A „szélesmetélt” tészta hosszúságának változása a vízelvonás során



3. ábra. A „lasagne” tészta hosszúságának változása a vízelvonás során



4. ábra. Az „aranylaska” tészta hosszúságának változása a vízelvonás során

Mindhárom tésztafajta (2-4. ábra) esetében megállapítható, hogy az előszárítási szakaszban a legintenzívebb a hosszirányú zsugorodás. DeTemmerman et al. [3] szerint a gyorsabb nedvességeltávolítás nagyobb mértékű tészta zsugorodással jár. Megfigyelhető továbbá az ábrákon, hogy a „szélesmetélt” és a „lasagne” hosszirányú méretcsökkenése a végszárítás alatt megoszlik, ez alól kivételt képez az „aranylaska” tészta (a végszárítás első fokozatában – a hőntartásig nagyobb zsugorodási hajlam figyelhető meg.).

A szárítóból kikerülő száraztészták átlagos teljes hosszirányú zsugorodása 5.7, 7.5 és 13,8% közötti értékű, ezek közül kiemelkedő a „lasagne” tészta (3. táblázat).

3. Táblázat A szárítás hatása a késztermék hosszirányú zsugorodására

Minták száma [db]	Szélesmetélt	Lasagne	Aranylaska
	Hosszirányú zsugorodás [%]	Hosszirányú zsugorodás [%]	Hosszirányú zsugorodás [%]
1	5,44	13,86	10,87
2	4,11	14,06	7,53
3	3,85	14,49	7,47
4	6,77	14,26	7,61
5	8,48	13,53	6,38

6	10,07	13,64	6,38
7	4,57	13,44	6,38
8	4,16	14,00	7,37
9	4,16	13,77	5,26
10	5,57	13,44	9,57
Átlag	5,72	13,85	7,48

Összhangban az eredményeinkkel a kutatási jelentések szerint a tészta zsugorodásának mértéke nem egyenletes a teljes szárítási folyamat során, azaz nagyban függ az anyag aktuális nedvességtartalmi állapotától és a szárítás mértékétől [2]. Az ún. ideális zsugorodás akkor következik be, ha a szárítás alacsony hőmérsékleten és lassan zajlik le, így a tésztában kicsi lesz a nedvesség gradiens és nem keletkezik olyan mértékű belső feszültség, amely az anyagban repedést okozna.

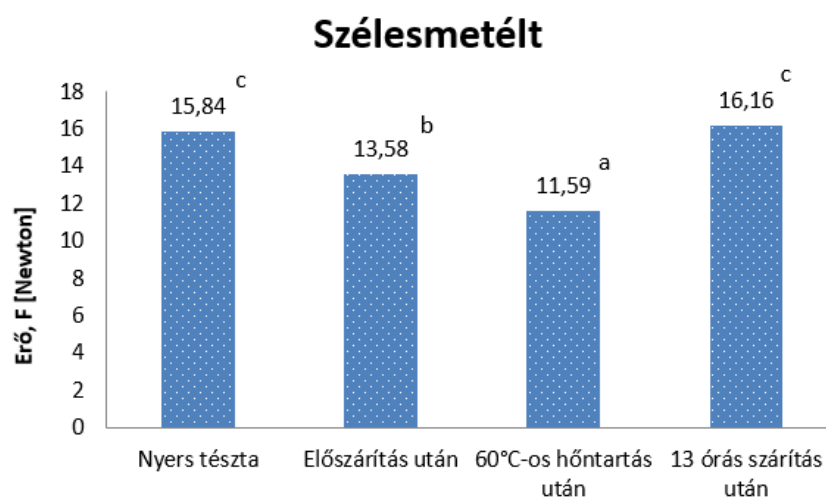
Az általunk megvizsgált tésztafélék felületén szemrevételezés során nem tapasztaltunk semmilyen repedésre utaló jeleket.

3.3. A vízelvonás hatása a száraztészta állományára

A textura egy másik olyan fontos jellemző, mely a szárított tészta fogyasztói elfogadhatóságát vizsgálja. A magas keménységi érték általában utalhat a meleg levegő okozta zsugorodásra, a deformációra, és a szilárd felületre, ami nem kedvező a termék feldolgozása (rehidráció, főzés) szempontjából.

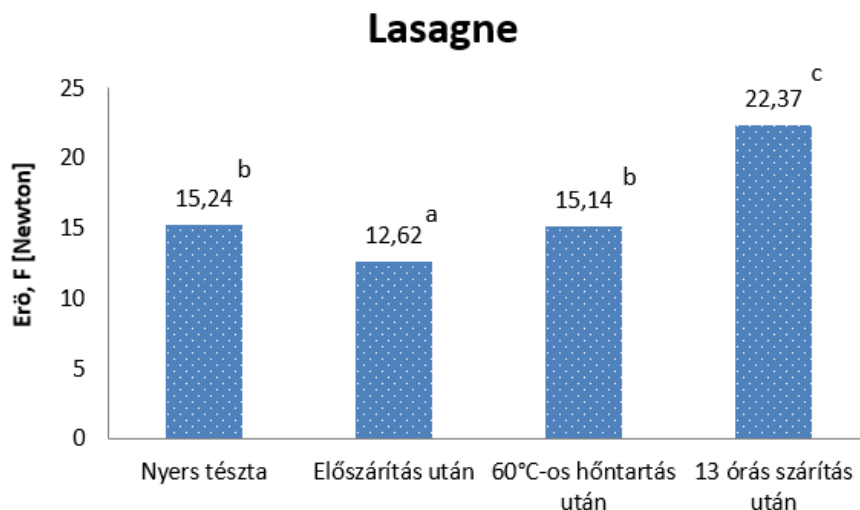
Az 5-7. ábrákon megfigyelhető a háromféle tészta texturális értékei nyers állapotban és a szárítási folyamat különböző szakaszaiban.

Mindhárom tészta felületi keménységének változása hasonló trendet mutat, mivel a termék texturális értéke az előszárítás és a hűntartás után szignifikánsan csökken a nyersanyaghoz (kontrol) képest, viszont a vízelvonás végén a száraztészta textúrája a legmagasabb értéket képviseli. Mindez köszönhető annak, hogy a konvekciós szárítás hatására a folyamat végén a felületről eltávozó víz párolgásának megszűnésével a felszín bekeményedik.



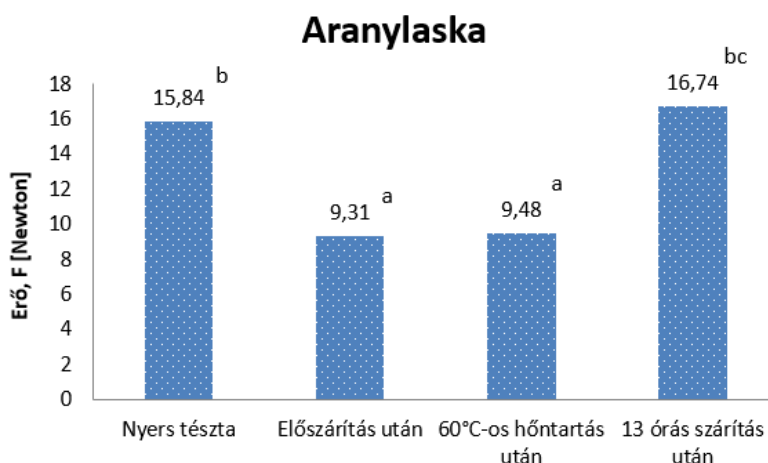
Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel.

5. ábra. „Szélesmetélt” tészta texturális értékeinek változása



Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel.

6. ábra. „Lasagne” tészta texturális értékeinek változása



Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel.

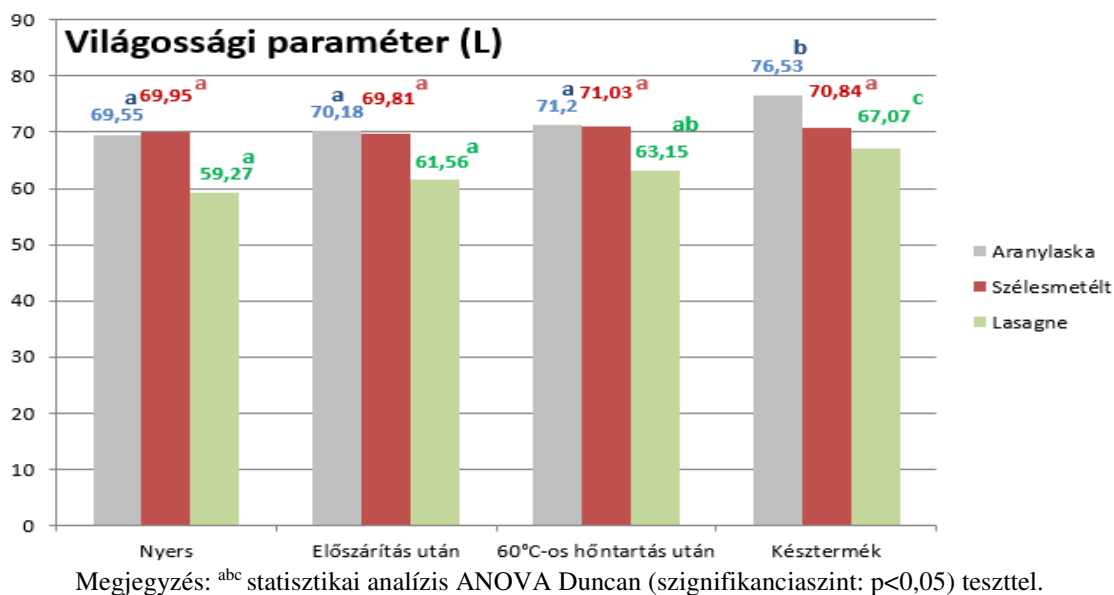
7. ábra. „Aranylaska” tészta texturális értékeinek változása

A szárítás befejeztével a tészták állománya magasabb értéket képvisel, mint a nyersanyag, de szignifikáns különbség ($p < 0,05$) csak a „lasagne” tésztánál (a legkeményebb felülettel rendelkezik) volt. Összhangban az eredményeinkkel Migliori et al. [6] megállapította, hogy kismértékű változás történt a nyers tészta textúrájában a szárítás végén.

3.4. A konvekciós szárítás hatása a tésztatermék színére

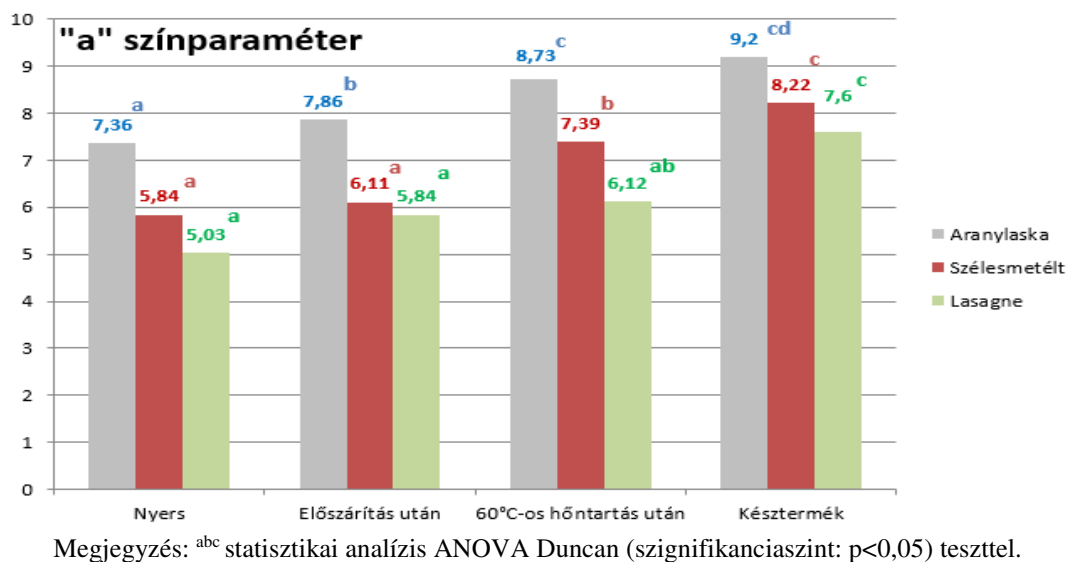
A tészta organoleptikus tulajdonságai közül a színnek kiemelt szerepe van, hiszen egyenletes sárga szín kell, hogy jellemezze azt. A száraztészták kellemes sárga színéért elsősorban a durum búza magbelsője (sárga színű színezőanyagot, karotinoidokat tartalmaz), és az adalékanyagok közül a tojás (tojássárgája) a felelős.

A „szélesmetélt”, a „lasagne” és az „aranylaska” színparamétereinek értékeit (L^* , a^* és b^*) a 8-10. ábrákon láthatjuk.



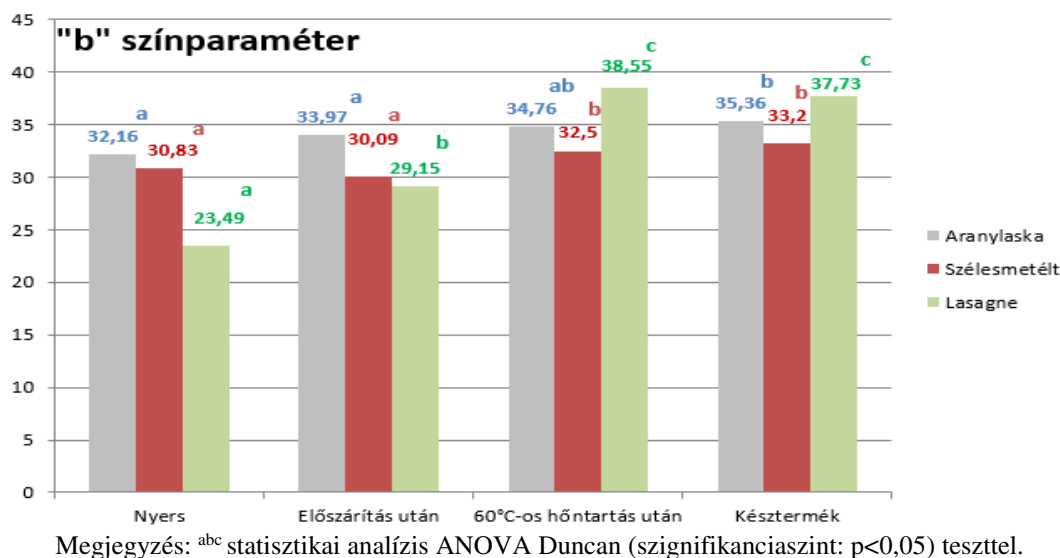
8. ábra. A tésztafélek világossági paraméter (L^*) értékei a szárítás különböző fázisánál

A vizsgált tészták világossági színparaméterét elemezve megállapítható, hogy mindegyik minta a szárítás hatására fakuláson ment keresztül, másképpen az L^* érték növekedett (8. ábra). Bár a nyerstermék (kontrol), az előszárított és a hőntartáson keresztül ment minták között szignifikáns különbség nincs ($p > 0,05$), de az „aranylaska” és a „lasagne” végtermék világossági paraméterei már szignifikáns eltéréssel jellemezhetőek, az azt megelőző fázisokhoz képest. A „szélesmetélt” tésztáról mondható el legkevésebbé, hogy az L^* paraméter nagymértékben növekedett. A végtermék fakulásáért nemcsak a szárítás, hanem a száraztészták fényérzékenysége is okolható.



9. ábra. A tésztafélek pirossági paraméter (a^*) értékei a szárítás különböző fázisánál

A három tészta pirossági paraméterének (a^*) egyöntetű emelkedése a nyersanyag színértékéhez képest a szárításnak köszönhető (9. ábra). A pirossági paraméter intenzív ($p < 0,05$) emelkedése a végszáritási szakaszban releváns. Mindez a tészta barnulására utalhat, amit a kismértékű túlszáritás és a relatíve magas szárítóközeg hőmérséklet okozhat.



10. ábra. A tésztafélek sárgasági paraméter (b^*) értékei a szárítás különböző fázisánál

A tésztafélek sárgasági színértékének (b^*) változása a 10. ábrán látható. Hasonlóan az előző ábra adataihoz, azaz a sárgasági paraméter intenzív ($p < 0,05$) emelkedése a végszárítási szakaszban ($T = 60^\circ\text{C}$) releváns. Megállapítottuk, hogy az előszárítási hőmérséklet (40°C) nincs hatással a tészta b^* színértékére, kivéve „lasagne” esetében. A száraztészta sárga színének erősödése a karotin tartalom növekedésére utalhat, ez különösen kiemelkedő a 8 tojásos tésztáknál (aranylaska és lasagne).

A színvizsgálat elemzéséből kiderült, hogy a 4 tojásos „szélesmetélt” tészta színe sérült a legkevésbé (színdifferenciája: $\Delta E = 3,47$ – feltűnő kategóriába sorolható).

A tudományos jelentések arra hívják fel a figyelmet, ha a nyerstészta szárítási ideje hosszú vagy/és a szárítóközeg hőmérséklete magas, akkor a tésztatermék barnul [1].

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a tanulmányban a „szélesmetélt”, a „lasagne” és az „aranylaska” szárítási szakaszait és annak hatását vizsgáltuk a termék zsugorodására, az állományára és a színére. A vizsgálati eredmények kiértékelése során az alábbi következtetésekre jutottunk:

1. Az előszárítási szakaszban a legintenzívebb a vízfelvonás és a zsugorodás mértéke.
2. A késztermék víztartalma a száraztésztaéval elvárt követelményeknek megfelelő értéket mutat.
3. A tojásmennyiség növekedése nincs hatással a tésztatermék textúrájára és színére.
4. A késztermék állománya hasonló értékkel jellemezhető, mint a nyerstészta, kivételt képez ez alól a „lasagne”.
5. A szárítólevegő hatására a tészta színe fakult, pirossági és sárgasági színparaméterek pedig emelkedtek, ami utalhat a barnulásra és a karotin-tartalom növekedésére.
6. Elsősorban a végszárítási szakasz okolható a tészta színének szignifikáns degradálásáért, ezért mindenképp javasoljuk a 60°C -os hőntartási hőmérséklet felülvizsgálatát.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton szeretnék hálájukat kifejezni a Nyír-Aranytojás Kft. ügyvezető igazgatójának, Pallay Ferenc úrnak és kedves feleségének, Pallayné Éva asszonynak a vizsgálatokhoz szükséges adatokért és a helyszíni méréseknél nyújtott segítségért.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ALTAN, A., MASKAN, M.:** *Microwave assisted drying of short-cut (ditalni) macaroni: Drying characteristics and effect of drying processes on starch properties.* Food Research International, 38, 787-796, 2005., ISSN 0963-9969
- [2] **BEUSCHEL, H.:** *Untersuchungen über ursachen und beeinflussungsmöglichkeiten der schwindungsspannungen bei der trocknung pasenartiger stoffe, insbesondere von teigwaren.* Dissertation University of München, 1956.
- [3] **DE TEMMERMAN, J., VERBOVEN, P., NICOLAI, B., RAMON, H.:** *Modelling of transient moisture concentration of semonila pasta during air drying.* Journal of Food Engineering, 80(3), 892-903, 2007., ISSN 0260-8774
- [4] **HARASZTI, L.:** *Kis- és középüzemi tésztagyártás.* 5. Magyar Szárítási Szimpózium, Szeged, 59-60, 2003.
- [5] **KÁLMÁN, F., NÁDHÁZY, GY.:** *Szárasztésztagyártás,* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 240-241, 1983., ISBN 963-231-623-1
- [6] **MIGLIORI, M., GABRIELE, D., DE CINDIO, B., POLLINI, C. M.:** *Modelling of high quality pasta drying: mathematical model and validation.* Journal of Food Engineering, 69(4), 387-397, 2005., ISSN 0260-8774

KÜLÖNBÖZŐ MŰTRÁGYÁK FIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

DETERMINATION OF THE MAIN PHYSICAL PROPERTIES OF THE FERTILIZERS

BALLA Zoltán¹, TAMÁS András, VÁNTUS András, HAGYMÁSSY Zoltán²

¹tudományos segédmunkatárs, ballazoltan@agr.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet

²PhD hallgató, tamasandras@agr.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Kerpely Kálmán Doktori Iskola

³adjunktus, vantus@agr.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet

⁴egyetemi docens, hagymassy@agr.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet

Kivonat: A környezet- és költségkímélő módszer a helyspecifikus, „precíziós” tápanyagpótlás, amellyel az adott táblán helyi viszonyokhoz és igényekhez alkalmazkodó tápanyag-kijuttatás valósul meg. A felhasznált műtrágyák fizikai tulajdonságai jelentősen eltérnek egymástól, amelyek jelentősen befolyásolják a talajra juttatott mennyiség területi eloszlását. Kutatásunk során hat különböző, a tápanyag-utánpótlásban igen elterjedt műtrágya fizikai tulajdonságait vizsgáltuk.

Kulcsszavak: műtrágya, környezetvédelem, precíziós gazdálkodás,

Abstract: The even fertilizer distribution is an important demand in agricultural technology. Environment-friendly cultivation technology requires distributing different types of fertilizers more accurately and evenly. For this reason it is necessary to develop fertilizer spreader machines continuously. In developing these machines it is essential to know the physical properties of fertilizers. This study deals with the main factors influencing fertilization, including the surface characteristic, grain (granule) shape, grain hardness, grain size range, specific grain weight. We can determine the following characteristics: particle size and particle size distribution, bulk density, moisture content, and the angle of repose.

Keywords: fertilizer, agricultural, environment-friendly, precision spreading

1. BEVEZETÉS

A növénytermesztésben igen fontos tápanyag utánpótlás nélkülözhetetlen eszköze a műtrágya használata. A műtrágyák precíziós kijuttatása a korszerű tápanyag gazdálkodási rendszer elengedhetetlen feltétele, amely a környezet károsítása nélkül biztosítja a kultúrnövények terméshozamát és minőségét. A környezet- és költségkímélő módszer a helyspecifikus, „precíziós” tápanyagpótlás, amellyel az adott táblán helyi viszonyokhoz és igényekhez alkalmazkodó tápanyag-kijuttatás valósul meg. A felhasznált műtrágyák fizikai tulajdonságai jelentősen eltérnek egymástól, amelyek jelentősen befolyásolják a talajra juttatott mennyiség területi eloszlását. Kutatásunk során hat különböző, a tápanyag-utánpótlásban igen elterjedt műtrágya fizikai tulajdonságait vizsgáltuk.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A méréseket és kísérleteket a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet anyagvizsgáló laboratóriumában végeztük el 20°C hőmérséklet és 30-40 % relatív páratartalom mellett. Típusonként 50-50 kg légmentesen zárt zsákos műtrágya állt rendelkezésre.

A vizsgálatokhoz a következő műtrágyákat használtuk:

1. NH_4NO_3
2. YARA Mila 13:13:21
3. Genezis NS 21:24
4. Kálum Klorid (60%-os kálisó)
5. Genezis CAN 27%N Pétisó
6. MAP NP 12:52

A szemcsék érzékszervi vizsgálatai alapján elmondható, hogy a minták a rájuk jellemző konzisztenciával bírnak. Összetapadást, porlást nem tapasztaltunk a mintáknál.

A mérések során használt módszerek

Nedvességtartalom mérése

Az egyéb fizikai jellemzőket nagyban befolyásolja a műtrágyák nedvességtartalma, így célszerű a mérések előtt ezt a vizsgálatot elvégezni. Háromszori ismétléssel, 25 gramm tömegű mintát, 72 órán keresztül $103 \pm 1^\circ\text{C}$ hőmérsékleten szárítószekrényben hevítettük. A mintákat alu-tálcára helyeztük (1.ábra). A hevítést követően a mintákat 0,01 g pontosságú analitikai mérleggel mértük le. A szárítás előtt és után mért tömegből számítottuk a nedvességtartalmat [1] [2].



1. ábra. Műtrágya minták, előkészítése

A műtrágyák szemcseösszetétele

A szitaanalízissel (2. ábra) végeztük a szemcsehalmaz méreteloszlásának meghatározását. Műtrágyaféleségeinket 100-100 gramm tömegű mintát, háromszori ismétléssel, 3 percig rázógéppel ráztunk. Az alkalmazott rostaméreték a következők voltak: 1 mm; 1,25 mm; 2 mm; 2,5 mm; 4 mm. A mintát és a rostamaradékot 0,01 gramm pontosságú analitikai mérleggel mértük le [1] [3].



2. ábra. Szitaanalízis

Térfogattömeg meghatározása

Az ömlesztett térfogattömeg meghatározásához 100 mm átmérőjű, 127,4 mm magasságú, 1000 cm³-es mérőedényt használtunk (3. ábra). A műtrágyákat 150 mm magasságból csurgatva, tömörítés nélkül, háromszori ismétléssel púpozottan öntöttük a mérőhengerbe, majd a tetejét lesimítottam és a befoglalt tömeget 0,01 gramm pontosságú analitikai mérleggel mértük le [6].



3. ábra. Térfogattömeg meghatározás

Gömbalakúság

A gömbalakúság (g_a) meghatározása Sitkei, [6] leírása alapján történt. A geometriai középátmérő és a legnagyobb átmérő aránya alapján a $g_a = (d_1 d_2 d_3)^{1/3} / d_3$, ahol a d_1 a legnagyobb méret, d_2 és d_3 a rá merőleges két méret. Szabályos gömb esetén az érték egységnyi [4].

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELES

A műtrágyák nedvességtartalma és szemcseösszetétele

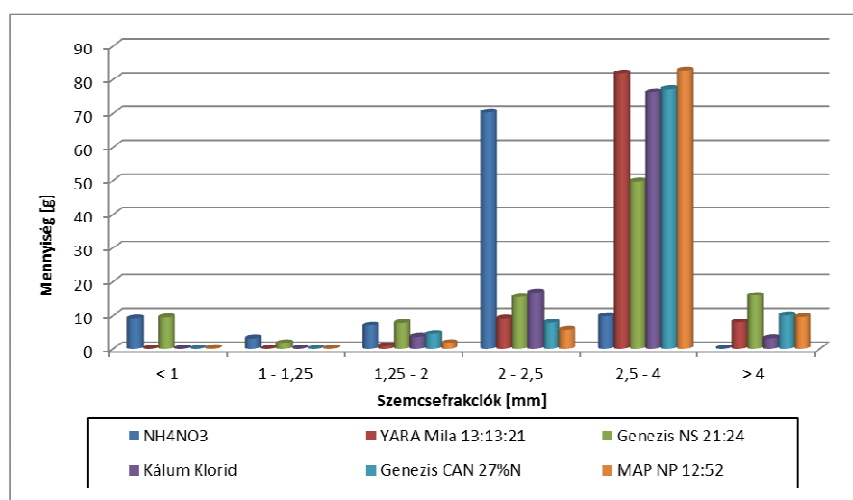
A vizsgált műtrágyák nedvességtartalmát és szemcseösszetételét az 1. táblázat tartalmazza. A mérések alapján a kettes minta tartalmazta a legtöbb nedvességet, ami annak vonatkozásában, hogy a szítás frakcionált mérés eredményeként ez a minta tartalmazza szinte a legkevesebb por frakciót (<1 g), ami vizsgált mintára vonatkoztatva 0,0 gramm, így nem okoz nagy problémát a műtrágya szórásakor. Legkevesebb nedvességet, a 4. számú minta tartalmazta, amely a Kálim-klorid volt. Struktúráját tekintve, leginkább durva, és szabálytalan alakú, és a legkeményebb szemcséjű műtrágyaféleség. Ennek tudható be, hogy legkevésbé higroszkópos.

Ez által legkevésbé érzékeny a vizsgált műtrágyák közül a tárolási környezet nedvességtartalmára.

1. Táblázat: A vizsgált műtrágyák nedvességtartalma és szemcseösszetétele

Műtrágya típus	1		2		3		4		5		6	
Nedvesség	4,18		5,03		1,36		0,44		2,94		4,44	
Szemcseméret	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
< 1	9,25	9,25	0,05	0,05	9,58	9,58	0,05	0,05	0,04	0,04	0,15	0,15
1 - 1,25	3,22	3,22	0,04	0,04	1,67	1,67	0,07	0,07	0,01	0,01	0,09	0,09
1,25 - 2	6,88	6,88	0,79	0,79	7,68	7,68	3,66	3,66	4,5	4,5	1,7	1,7
2 - 2,5	70,27	70,27	9,24	9,24	15,46	15,46	16,82	16,82	7,76	7,76	5,64	5,64
2,5 - 4	9,84	9,84	81,91	81,91	49,75	49,75	76,28	76,28	77,2	77,2	82,73	82,73
> 4	0,1	0,1	7,9	7,9	15,87	15,87	3,28	3,28	10,1	10,1	9,68	9,68
összesen	99,56	100	99,93	100	100,01	100	100,16	100	99,61	100	99,99	100

A szemcsefrakciók meghatározása, a szóráskép egyenletességére enged következtetni. Minél több a por frakció egy mintában, annál higroszkóposabb, annál egyenetlenebb a szóráskép. A vizsgált minták frakció szerinti mérését az 1. táblázat és az 5. ábra mutatja.



4. ábra. A vizsgált műtrágyák nedvességtartalma és szemcseösszetétele

A minták közül, a Genesis NS 21:24 minta tartalmazta a legtöbb por (<1) frakciót, és ugyanez a minta tartalmazta a legtöbb 4 mm feletti szemcseméretet is. Ez viszonylag kiugró értéknek számít. A műtrágya, így igen változatos tulajdonsággal rendelkezik mind a vízmegkötő képesség, mind pedig a szóráskép vonatkozásában.

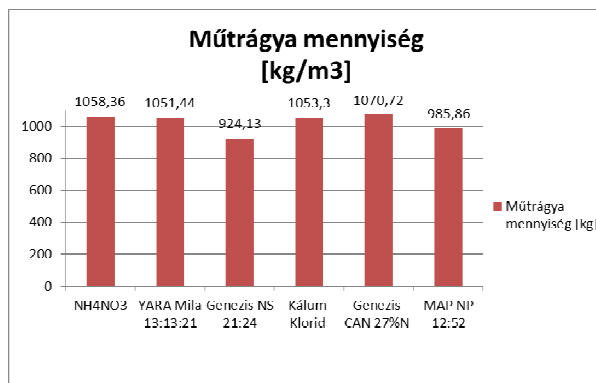
A 2-2,5 mm tartományban találunk egy kiugró értéket, amelyet az NH_4NO_3 minta szolgáltatott. Azaz a vizsgált minta mennyiségének 70,27 %-a tartozik ebbe a tartományba, amely jóval meghaladja a többi minta e kategória értékét. Megállapítható, hogy emiatt a munkaszélesség alakulására ez kedvező hatással bír az NH_4NO_3 esetében.

A műtrágyák térfogattömege

A műtrágyák térfogattömege a szállításkor jelentkező kapacitás igénytel van összefüggésben. A vizsgált műtrágyák térfogattömegét a 6. ábra mutatja.

Megfigyelhető, hogy a legnagyobb térfogattömeggel a Genezis CAN 27%N Pétisó rendelkezik, ami a rossz gömb alakúságnak tulajdonítható (0,871).

A gömb alakúság mérésénél kapott eredményeket a 2. táblázatban láthatjuk. A legkisebb térfogattömeggel a Genezis NS 21:24 műtrágya rendelkezik, ezért tárolásnál, szállításnál ez igényli a legnagyobb kapacitásokat.



5. ábra. A vizsgált műtrágyák térfogattömege

2. Táblázat: A műtrágyák gömbalakúsága

	Globular
NH ₄ NO ₃	0.971
YARA Mila 13:13:21	0.924
Genezis NS 21:24	0.739
Kálum Klorid	0.72
Genezis CAN 27%N	0.871
MAP NP 12:52	0.936

ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében elmondható, hogy a műtrágyaszemcsék szórásában fontos szerepet játszó fizikai tulajdonságok közül a legmeghatározóbb tulajdonságokat 6 különböző műtrágya esetén vizsgáltuk. A mért nedvességtartalom, térkitöltés, frakció tulajdonságok a tárolási és szállítási tulajdonságokat befolyásolják. Mindezek mellett nagyon fontos szerepet játszik a munkaszélség, valamint a szórás kép változása egy-egy műtrágya típus esetén. A kapott eredmények számszerűen megmutatják a vizsgált műtrágyák e tulajdonságait, amelyekből a precíziós technológiában is elengedhetetlen egyenletes szórás kép és egyenletes munkaszélesség meglétére következtethetünk. Nem utolsó sorban a vizsgált műtrágyák előállításának tulajdonságaira is támpontot adhat, amellyel például a műtrágyák porosodása csökkenthető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA, ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

GINOP-2.2.1- 15-2016- 000 01ÜZEMMÉRETTŐL FÜGGETLEN KOMPLEX PRECÍZIÓS SZAKTANÁCSADÁSI RENDSZER KIALAKÍTÁSA CÍMŰ PROJEKT TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BATTÁNE GINDERT-KELE, Á., CSIZMAZIA, Z., ANCZA, E., HAGYMÁSSY, Z.** Műtrágyaszemcsék néhány fizikai jellemzője. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr. 26. Gödöllő 2002. január 15-16. 2. kötet. 165-169 p.
- [2] **CSIZMAZIA, Z., NAGYNÉ POLYÁK, I., KŐKUTI, A.**(2006).: Basic research for the development of fertiliser spreaders. J. Agric. Sci 24 52-57 pp.
- [3] **CSIZMAZIA, Z.** (2008): Hogyan válasszunk függesztett röpitárcsás műtrágyaszóró gépet. Agrofórum. 19. évf. 11. sz. 78-80.p.
- [4] **CSIZMAZIA, Z.** (2011): Műtrágyaszóró gépek üzemeltetése. Agro Naplo XV. évf. 8. szám. 55-56.p.
- [5] **GINDERT-KELE, Á.** (2005): Műtrágyaszemcsék fizikai jellemzői és mozgásuk elemzése. Doktori (Ph.D) értekezés tézisei. Debrecen, 26. p.
- [6] **SITKEI GY.** (1981): A mezőgazdasági anyagok mechanikája, Akadémiai Kiadó (Budapest), 57-65 pp.

METSZŐKEREKES FOGVÉSÉS SZÁMÍTÓGÉPES TECHNOLOGIAI TERVEZÉSE

COMPUTER AIDED TECHNOLOGICAL DESIGNING OF FELLOWS GEAR PRODUCTION TECHNOLOGY

Balsa Péter¹, Géresi Zoltán Gergő², BODZÁS Sándor³

¹Tanszéki Mérnök, balsa.peter@eng.unideb.hu

Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótomető u. 2-4.

²Technológus, zoltan.geresi@eng.unideb.hu

Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótomető u. 2-4.

³Ph.D., főiskolai docens, Tanszékvezető helyettes, bodzassandor@eng.unideb.hu

Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótomető u. 2-4.

Kivonat: A publikáció során egy adott fogaskerékpár egyik tagjának legyártásához terveztünk egy Fellows-féle fogazatgyártáshoz használható szerszámot, ún. metszőkereket. Majd ezt egy háromdimenziós CAD rendszerben lemodelleztük. A kutatásunk a szerszámtervezés mellett kiterjedt a fogaskerékgyártás egyik nagy problémájára, az optimalizált prototípusgyártásra. Egy igen komoly mérnöki feladat volt, hogy mindamelllett, hogy megfelelő minőségű gyártást vigyünk véghez.

Kulcsszavak: Metszőkerék, fogaskerékgyártás, gyártástechnológia

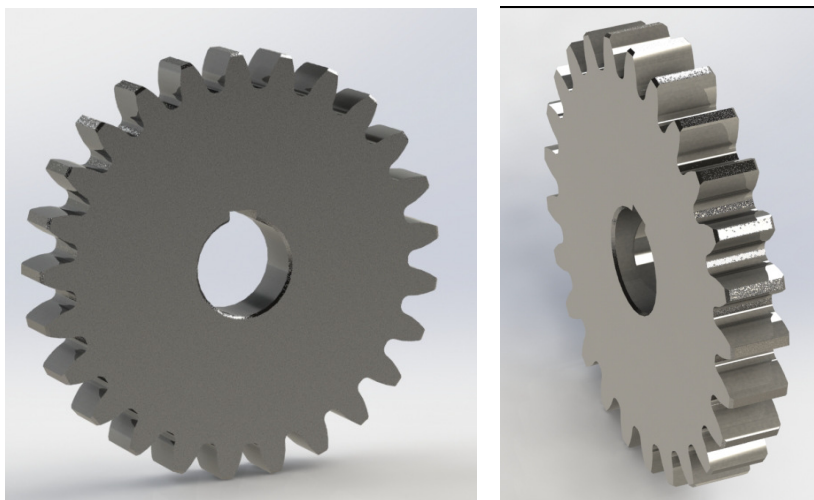
1. A KIINDULÓ FOGASKERÉK ADATAI

Egy adott egyenes fogazatú hengeres fogaskerékpár egyik kerekéhez terveztünk szerszámot. A fogaskerékpár adatait az alábbi 1. táblázat tartalmazza.

1. Táblázat Fogaskerékpár adatai

Adat	1. Fogaskerék	2. Fogaskerék
Axiálmetszeti modul: m [mm]	5,5	
Fogsám: z [db]	25	35
Tengelytáv: a [mm]	165	
Fejmagasság: h_a [mm]	5,5	
Lábhézag: c [mm]	1,375	
Lábmagasság: h_f [mm]	6,875	
Osztóköri osztás: t_o [mm]	17,2788	
Foghézag: j_s [mm]	0,8639	
Teljes fogmagasság: h [mm]	12,375	
Működő fogmagasság: h_w [mm]	11	
Osztóköri fogvastagság: s_{ax} [mm]	8,2074	
Osztókörátmérő: d_o [mm]	137,5	192,5
Fejkörátmérő: d_a [mm]	148,5	203,5
Lábkörátmérő: d_f [mm]	123,75	178,75
Alapkörátmérő: d_{ak} [mm]	129,2077	180,8908
Átéttel: i_a	1,4	

A 2. Fogaskeréknek elnevezett alkatrész legyártásához tervezünk Fellows-metszőkereket, aminek alapjául a kerék párját az 1. fogaskerék geometriáját vesszük. Ezen elem háromdimenziós modelljét az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. Az 1. fogaskerék háromdimenziós modellje

2. A METSZŐKERÉK ADATAI

Az [1.] szakirodalomban található képletek alapján meghatároztuk a metszőkerék adatait. Ezt a 2. és 3. táblázatban foglaltuk össze.

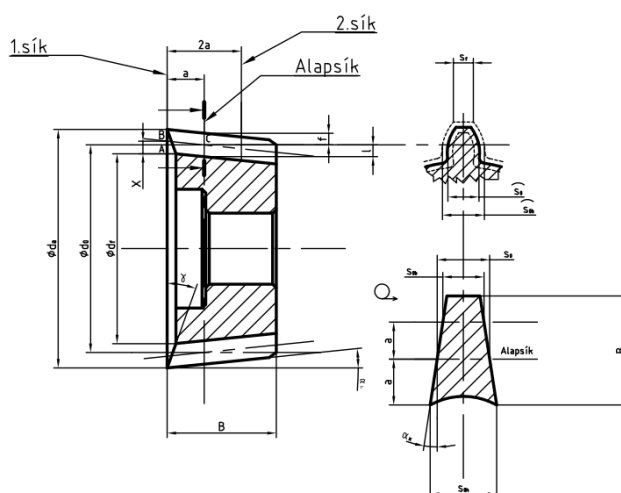
2. Táblázat Metszőkerék adatai I.

Axiálmetszeti modul: m [mm]	5,5
Fogsám: z [db]	25
Tengelytáv: a [mm]	165
Fejmagasság: h_a [mm]	5,5
Lábhézag: c [mm]	1,375
Lábmagasság: h_f [mm]	6,875
Osztóköri osztás: t_o [mm]	17,2788
Foghézag: j_s [mm]	0,8639
Teljes fogmagasság: h [mm]	12,375
Működő fogmagasság: h_w [mm]	11
Osztóköri fogvastagság: s_{ax} [mm]	8,2074
Osztókörátmérő: d_o [mm]	137,5
Fejkorátmérő az 1. síkban: d_a [mm]	148,5
Lábkörátmérő az 1. síkban: d_f [mm]	123,75

3. Táblázat Metszőkerék adatai II.

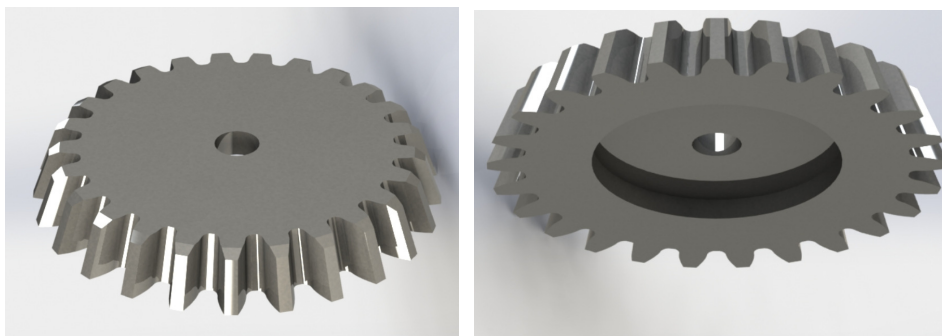
Alapkörátmérő az 1. síkban: d_{ak} [mm]	129,2077
Átéttel: i_a	1,4
Profilszög: α_f [°]	20
Profileltolási tényező: x	0
Alapprofilszög: α_s [°]	-6
Az alapsík fajlagos távolsága az 1. síktól	2
Fogvastagság az alapsíkban: s_0 [mm]	8,63938
Fogvastagság az 1-es síkban: s_{01} [mm]	53,82022
Fogvastagság az 2-es síkban: s_{02} [mm]	24,7196
Hátszög: α_x [°]	0,248361
Metszőkerék fejszalagvastagsága az 1-es síkban: [mm]	0,47

A mérték elhelyezkedését a 2. ábra mutatja be

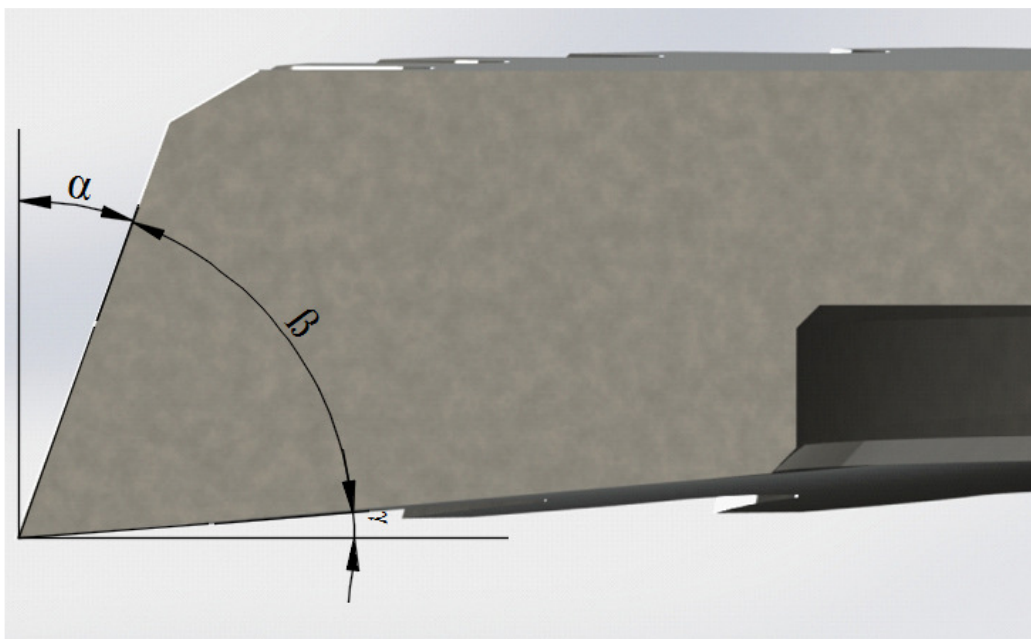


2. ábra. A metszőkerék méretei (Saját szerkesztés [1.] alapján)

Ezen méretek alapján elkészítettük a metszőkerék háromdimenziós CAD modelljét, Amit a 3. és 4. ábra tartalmaz.



3. ábra. A metszőkerék háromdimenziós modellje



4. ábra. A metszőkerék élgeometriája

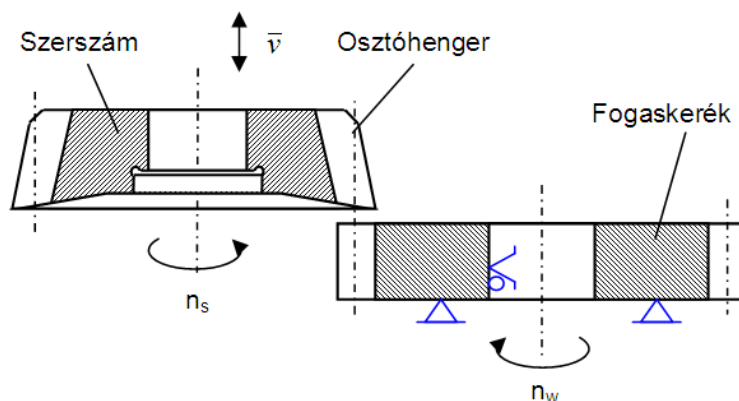
2. TECHNOLÓGIAI FOLYAMAT MODELLEZÉSE

A kutatásunk a szerszámtervezés mellett kiterjedt a fogaskerékgyártás egyik nagy problémájára, az optimalizált prototípusgyártásra. Egy igen komoly mérnöki feladat volt, hogy mindamellett, hogy megfelelő minőségű gyártást vigyünk véghez. A hagyományos FELLOW típusú gépen egy átállás mérve és számolva 0,5-0,75 óra. Ha szerszámcsere nem szükséges.

Kielemeztük az átállás fázisait szerszámcserét figyelembe véve:

- Kész munkadarab eltávolítása
- Szerszám leválasztása
- Cserekerék számítás (minden esetben számolni kell)
- Cserekerék cseréje
- Szerszámválasztás
- Munkadarab behelyezése

Továbbá részletesen kiértékeltek a szerszám és munkadarab viszonyait. A leírt pálya igen bonyolult és több fázisból áll. Az alternáló mozgás mellett a szerszám és a munkadarab összeforog, amely így tisztán legördülő pályát ad, akár két fogaskerék. Tehát az n_s , mint a szerszám fordulatszáma és az n_w , mint a munkadarab fordulatszáma képezi a legördülő mozgást. A pálya modellezése egy fontos feladat volt, hogy megértsük, hogyan lehetne megvalósítani a pályát CNC gépen. Egy körasztal segítségével megvalósítható a mozgásleképzés. A munkadarab rögzítése egy az asztalhoz erősített tokmánnal megvalósítható.



5. ábra. Fellow-eljárás mozgásviszonyai

A CNC (Computerized Numerical Control) gépek saját vagy szabványosított programnyelven képesek a pályákat leírni. A célunk az volt, hogy megvalósítható legyen a programozott pályavezérlés. A végső megoldás egy makró program lett, amely kizárólag paramétereiből áll. Szükséges a fogszám, a modul és a munkadarab vastagsága a technológiai paramétereken kívül. A szerszámtár megléte biztosítja, a számolt szerszám paramétereit. Egy hivatkozás sorozat után a kitöltött szerszám megjelenik a főprogramban. Az alapbeállításban bizonyos lépésközök vannak definiálva, amelyet rendszerint felül lehet írni, függően, hogy mire van szüksége a felhasználónak, nagyolásra vagy simításra. A megírt makrózott pálya egy logikusan végigkövetett műveleti sorrendeket követő programból született meg. 72 paraméterből áll.

A program egy szerszámcsere pontról indul, ahol a gép beváltja a szerszámot a hozzá tartozó átmérő, és hosszparaméterekkel együtt a 4 tengelyt kihasználva leképezhető a mozgás. A gép holtjátékaival számolva a bemérést követően kizárólag forgatjuk az asztalt így nem szükséges több tengelyen síkbeli mozgást végezni. Az alternáló mozgást a Z tengelyen oldjuk meg. A pozícióba forgatott főorsó osztásközökkel növekményes rendszerben működik.

Számos technológiai paramétert kellett definiálni ahhoz, hogy működőképes programot kapjunk ehhez, szükség volt az összes fogkapcsolódáshoz szükséges mennyiségre (modul, fogszám, c^* stb.) ezekből képeztünk paramétereket. A paramétereket a program első soraiban kell definiálni, gyakorlatilag egy programfát hoztunk létre, amely tartalmazza a megadott paramétereket, a számított paramétereket és a ciklusleírást.

Program előkészítése paraméterek meghatározása:	...
#101= /érték/ (Z=fogszám)	Ciklus leírása:
#102= /érték/ (m=modul)	G0Z5
#202=[#101*#102] (m*z (osztókör átmérő)	G0 X[#1001+#2001+10] (Rmdb+Rserszám)
#203= (ha* fejmagasság tényező)	G91G1X[#1001+#521] f#901
#204= (c* lábhezág tényező)	G90G1z-#10100
#301= [#203*#102] (fejmagasság)	G91G1[#1001]
#302=[[#203+#204]*#102](lábmagasság)	M19
#401=[#301+#302] (fogmagasság)	NUMB1=0+#9001 (#9001 az elfordulási szög inkrementális értéke)
#501=#401(teljes vésett hossz)	...+(forgó mozgás ciklus végén és ismétlésszám (if-es-taggal és GOTO paranccsal) meghatározása paraméterből)
#511=/érték/ (fogankénti előtolási érték)	
#521=#501/511 (ap (technológiai paraméter))	

6. ábra. Részlet a CNC programból

3. TECHNOLÓGIAI HÁTTÉR

A szerszám választása is paraméterből történik, hiszen a fogszámot és a modult a szerszám nevében elrejtettük, így a szerszámtárból közvetlenül elérhető. A vágósebesség a gyalulás technológiai paramétereire vonatkoztatható.

A kettőslöketet, mint technológiai paramétert nem ismeri a CNC gép vezérlése. Így át kellett dolgozni a főmozgást [mm/min] mértékegységre.

$$n = \frac{V_{km}}{2 * s} \left[\frac{1}{min} \right] \quad (1)$$

$$n = 20 \left[\frac{1}{min} \right] \quad (2)$$

Ebből ismeretlen az s= kettőslöket hossza

Technológiai paramétert nem ismeri a CNC gép vezérlése. Így át kellett dolgozni a főmozgást [mm/min] mértékét.

$$s = l_r + l_t + L \quad (3)$$

$$V_{km} = n * 2 * s \quad (4)$$

$$V_{km} = R(\text{szám}) \text{ paraméter} \quad (5)$$

Ahol:

l_r = ráfutás a munkadarabra [mm];

l_t = túlfutás a munkadarabon [mm];

L = a munkadarab hossza [mm];

n = kettőslöket [mm/kettőslöket];

v_{km} = átlagos vágósebesség [mm / perc]

A teljesítményszükségletet is vizsgálnunk kellett hogy pontosabb képet kapjunk így meghatároztunk egy közepes forgácsvastagságot és egy forgács keresztmetszetet.

$$A = a * f [mm^2] \quad A = 1 * 2 [mm^2] \quad (6)$$

$$F_v = k_s * A \quad F_v = 750 * 2 [N] \quad (7)$$

$$P_v = \frac{F_v * V_{km}}{0,8} [W] \quad P_v = \frac{1500 * 0,2}{0,8} [W] \quad (8)$$

Ahol:

A = forgácskeresztmetszet [mm^2];

a = fogásmélység [mm];

f = előtolás [mm];

F_v = főforgácsoló erő [N];

P_v = teljesítményigény [W]

A kezdő fogás a legnagyobb itt lép fel a legnagyobb teljesítmény.

$P_v = 375\text{W}$ a fogásmélységtől függően, mert ez is paraméter.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Fellow féle metszőkerékkel történő gyorsabb prototípusgyártás volt a megoldandó feladatunk. Adott fogaskerékpár figyelembevételével megterveztük a számunkra ideális szerszámot. Felmérve az adott gyártástechnológiát a számítógéppel vezérelt szerszámgép mellett döntöttünk. A továbbiakban ISO programnyelven CNC programot írtunk a körüljárhatóság és az alkotott pályamodell alapján. A gép paramétereit figyelembe véve egy közel ideális technológiát programoztunk, amely kevésbé megterhelő a Z-tengely számára.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DUDÁS I.:** *Gépgyártástechnológia III. A. Megmunkáló eljárások és szerszámai. B. Fogazott alkatrészek gyártása és szerszámaik*, Egyetemi tankönyv., Műszaki Kiadó, 2011., p. 538, ISBN 978-963-16-6531-4
- [2] **KODÁCSI J.:** *Gépgyártás*, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 2010, p. 275
- [3] **ERNEY GY.:** *Fogaskerekek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983, p. 460.
- [4] **TERPLÁN Z.:** *Gépelemek IV.*, Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1975
- [5] **SZENICZEI L., ERNEY GY.:** *A fogaskerékgyártás zsebkönyve*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965., p. 447.
- [6] **SASI NAGY I.:** *Fogazószerszámok tervezése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- [7] **MÁTYÁSI GY., SÁGI GY.:** *Számítógéppel támogatott technológiák, CNC, CAD, CAM*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2012, 3. kiadás, ISBN 978-963-16-6048-7

FELNŐTTKÉPZÉSI MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI FELADATOK SZERVEZÉSÉNEK EGYES KÉRDÉSEI

SOME ISSUES OF ORGANIZING QUALITY ASSURANCE TASKS IN ADULT EDUCATION

BERÉNYI László

PhD, dr. habil., egyetemi docens, szvblaci@uni-miskolc.hu
Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A felnőttképzési tevékenység minőségbiztosítási tevékenységének szervezése sajátos kihívásokkal jár, ha egy felsőoktatási intézmény végzi azt. A részletes jogszabályi előírásoknak való megfelelés és az intézmény szabályozása által generált információigény hatékony összehangolása célszerűvé teszi egyedi megoldások kidolgozását. Véleményem szerint szervezeti egység szintű minőségbiztosítási rendszer működtetésére van szükség. Tanulmányomban ennek okait mutatom be, továbbá kitérek a rendszer egyes tartalmi kérdéseire.

Kulcsszavak: felnőttképzés, minőségbiztosítás, önértékelés

Abstract: Higher education institutions often establish also adult education. In such cases there are some special challenges regarding to organizing quality assurance tasks. Custom solutions may be necessary in order to meet the spread legal regulation and the information need of the higher education institution. I believe that an organizational unit-level quality assurance system can be efficient. The paper explains the reasons and some substantive issues.

Keywords: adult education, quality assurance, self-evaluation

1. BEVEZETÉS

Jelenleg a felnőttképzésről szóló 2013. évi LXXVII. törvény ad keretet a felnőttképzéshez kapcsolódó intézményi és program szintű engedélyezési feladatok lebonyolításához, továbbá előírja a felnőttképzést folytató intézmény képzési tevékenysége minőségének folyamatos javítása céljából minőségbiztosítási keretrendszer működtetését. Az 58/2013. (XII. 13.) NGM rendelet a felnőttképzési minőségbiztosítási keretrendszerről, valamint a Felnőttképzési Szakértői Bizottság tagjairól, feladatairól és működésének részletes szabályairól foglalkozik – többek között – a témára vonatkozó részletes szabályokkal, a felnőttképzési minőségbiztosítási keretrendszer meghatározásával. Ki kell emelni továbbá a 393/2013. (XI. 12.) Kormányrendeletet a felnőttképzési tevékenység folytatásához szükséges engedélyezési eljárásra és követelményrendszerre, a felnőttképzést folytató intézmények nyilvántartásának vezetésére, valamint a felnőttképzést folytató intézmények ellenőrzésére vonatkozó részletes szabályokról, amely az oktatáshoz szükséges eszközök tételes felsorolása mellett megfogalmazza az elégedettségmérés kötelező kérdéseit is.

A jogszabályok a keretrendszernek megfelelő minőségbiztosítási rendszer működtetését írják elő, ami jelentheti egy már elfogadott megoldás átvételét és bevezetését, vagy saját rendszer kidolgozását. Utóbbi esetben a keretrendszernek való megfeleltetés külső ellenőrzését is el kell végezteni. A minőségbiztosítási rendszer eljárásaira, külső rendszeres értékelésére, a tárgyi és személyi feltételekre, továbbá az elégedettségmérésre vonatkozó előírások alapján célszerűnek és egyszerűnek tűnik átvenni egy kész megoldást, azonban ez válhat a nehezebb úttá, ha az intézmény nem csak felnőttképzési tevékenységet folytat. A vezetői információigény, a már meglévő irányítási rendszer eljárásaival való összehangolás egyedi fejlesztéseket tehet szükségessé.

A jogszabályok mellett a felnőttképzés tartalmi és módszertani sajátosságaival részletesen foglalkozik az andragógia szakirodalma (lásd [1], [2], [3]). Csoma [4] leírása jól világítja meg legfontosabb célját: „a felnőttoktatás ad módot a közoktatás, a szakoktatás és a felsőoktatás várhatóan – többé vagy kevésbé – mindig egyenetlenül megvalósuló társadalmi szerepének korrigálására és kiegészítésére: társadalmi nyitottságuk, esélyegyenlítő minőségük, mobilizációs kapacitások stb. terén.” A felnőttképzés szerepe tehát – célirányos ismeretátadás és kompetenciafejlesztés, ezen keresztül pedig az élethosszig tartó tanulás [5] megvalósulásának támogatása úgy, hogy a munkaerőpiaci kínálatot a kereslethez igazítja.

Tanulmányomban a felnőttképzést is folytató felsőoktatási intézmény példáján keresztül, általánosítva vizsgálom a szervezési kihívásokat, az általános kérdéseken túl három kérdést kiemelve:

- a felnőttképzés működésének egyes sajátosságai,
- a minőségbiztosítási rendszer integrációjának fokát a szervezeti szintű rendszerben,
- az önértékelés tartalma.

2. ÁLTALÁNOS KIHÍVÁSOK

A felsőoktatás minőségének fejlesztése összetett kihívás, ami az oktatási tartalom mellett kiterjed az adminisztráció-ügyintézés és gazdálkodás kérdéseire is. Polónyi és társai [6] rámutatnak, hogy az akkreditációs és egyéb rendszeres felülvizsgálatok teljesítése érdekében alkalmazott módszerek és eljárások nem feltétlenül alkalmasak a valódi hiányosságok és problémák kezelésére. Hatásuk a felnőttképzési tevékenységben is megjelenik. A szerzők eredményei közül a vizsgálatom szempontjából fontos elemek:

- az intézményekre szigorú hierarchia jellemző, erősen hagyományokra építő és változásokat elutasító megoldásokkal, autonómiának vélt öntörvényűséggel, szabályozatlansággal, kiszámíthatatlansággal és átjárhatatlansággal,
- a megnövekedett hallgatói létszám, a kreditrendszer, a tantárgyak számának növekedése és a többciklusú képzéssel járó feladatok mögül hiányzik a megfelelő informatikai támogatás (hardver és személyi tekintetben egyaránt), ami bizonytalansághoz, hibákhoz és feszültségekhez vezethet (megjegyzés: a megindult lassú fejlődés után pedig a rendszer nem tud mit kezdeni a csökkenő hallgatói létszámmal),
- elmaradott vagy nem megfelelően kihasznált az infrastruktúra, továbbá hiányzik az annak hatékony felhasználására vonatkozó értékelés,
- a szolidaritás a nem piacképes, korszerűtlen szakok és programok fenntartásához vezethet,
- a finanszírozási források nem feltétlenül igazodnak a feladatokhoz, a szerződéses munkák többnyire versenyképtelenek a vállalkozásokhoz képest (nem szakmai, hanem bürokratikus okokból).

Habár a szerzők által vázolt helyzetkép 2006-os, az elmúlt évek fejlesztései sem oldottak meg minden problémát. Véleményem szerint a felsőoktatási intézmények működésének szabályozottsága hiányos, annak ellenére, hogy nagy számú és terjedelmes szabályzati anyag érhető el. A probléma az előírások ellentmondásosságából és be nem tartásából ered. A felsőoktatási intézmények és szervezeti egységeik számos szabályzatot dolgoznak ki és vezetnek be: a kari szabályzatok léte például már azt mutatja, hogy nem lehet egységes intézményi szabályzást alkotni. Tanulságos Susánszky véleménye a megfelelő szabályozásról, amely szerint egyrészt „cseppfolyóssá válik az olyan vállalat működési rendje, amelynek szervezési előírásai többféleképpen magyarázhatók” [7], másrészt „nincs szabályozó erő az

olyan munkavégzési utasításban, amelynek a gyakorlattól való különbözőségét – bármely kis részlet vonatkozásában – a vezetők nyíltan vagy hallgatólágosan elismerik” [7].

Egy ilyen helyzetben tovább növelni a szabályzatok számát csak fokozza a problémát.

Zieleniewski [8] a felsőoktatás intézményeket – más szervezetek mellett – az alapján különbözteti meg a vállalatoktól, hogy itt a hatalom nem a munkaeszközök tulajdonára épül. A vállalkozói szemlélet érvényesítése ugyanakkor egyre fontosabb szerepet tölt be az intézmények számára finanszírozási, kutatási és társadalmi szerepvállalási szempontból is, sőt a teljesítménymérésben is egyre több vállalati elv és módszer jelenik meg. A minőség szemlélet e követelmények teljesítéséhez kulcsfontosságú terület. A „Fokozatváltás a felsőoktatásban” című anyag egyértelműen a teljesítmény-alapú gondolkodást szorgalmazza minden területen, 2016-tól a költségvetés készítése is feladat-alapú. Az oktatási feladatokra ez korlátozottan (torzítottan) alkalmazható az állami felsőoktatásban, lényegében közfeladat ellátásáról van szó, ahol a megrendelő és gazda az állam. A koncepció finanszírozással foglalkozó részében hangsúlyozza az állami és közösségi forrásoktól származó forrásoktól való függőség csökkentését, a saját bevételek növelését, illetve a működési kiadások csökkentését. Habár ezek az elvárások a vállalatokhoz hasonlóan a nyereség (fedezet) növelésének irányába mutatnak, a megtakarítások felhasználása más elveken, külső szabályok, továbbá intézményi és országos szolidaritás alapján történik, a munkaeszközökre vonatkoztatott hatékonyság értelmezése csorbul.

3. FELNŐTTKÉPZÉSI TEVÉKENYSÉGEK EGYES SAJÁTOSSÁGAI

A felsőoktatási intézmények felnőttképzési tevékenységet is folytathatnak. A felnőttképzési programok nagyban hozzájárulnak ahhoz, hogy az intézmény a folyamatosan változó kihívásokhoz alkalmazkodni tudjon. Általában a felnőttképzés koordinálása az intézmény egy erre a célra létrehozott, külön szervezeti egységénél jelenik meg, azonban átfedés van a képzési témák és az oktatók között is. Kézenfekvő megoldásnak tűnhet az intézmény minőségügyi rendszerének (különösen önértékelési módszertanának) kiterjesztése a felnőttképzésre is, hiszen első ránézésre a felsőoktatáshoz hasonló folyamatokat kell kezelni, a projekt keretében elvégzett helyzetvizsgálat azonban rámutatott a korlátokra is. A szervezeti egység szintű megoldás kidolgozásnak indokai:

Időtényező: minőségügyi szempontból az időbeliségben mutatkozik a legfontosabb eltérés a felsőoktatáshoz képest. A legtöbb felnőttképzési program rövid idő alatt valósul meg (gondoljunk az egy vagy néhány napos szakmai képzésekre), a résztvevők elégedettségmérését a képzés végén kell elvégezni. Az intézményi önértékelés féléves és éves periódusú vizsgálataival sokszor már el sem lehetne érni az érintetteket, a visszacsatolás lehetőségei pedig erősen korlátozottak.

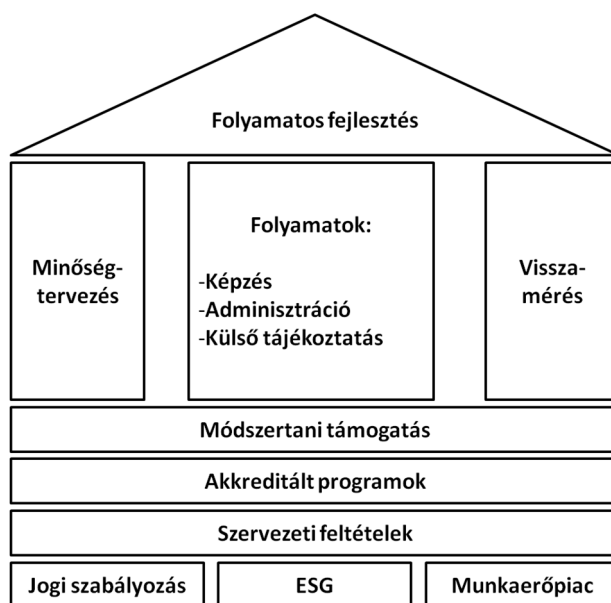
Vevőkapcsolatok: önmagában a hallgató, mint vevő nem indokolná a szervezeti egység szintű szabályozást, sőt a partnervállalati és társadalmi kapcsolatok kezelésére is létezik intézményi szintű megoldás (a projektben résztvevő intézményeken túl is bevett gyakorlat a legtöbb intézménynél). A vevők azonban adott időszakban nem ugyanazok, mint a hallgatói jogviszonyban folytatott oktatás körében. A felnőttképzési programokat megrendelő szervezetek esetén is direkter és gyorsabb folyamatok jellemzők: a munkáltatók visszajelzése – szemben a felsőoktatási alapfeladatokkal – közvetlen és azonnali.

Jogszabályi előírások: A jogszabályok előírásai szellemiségében igen, egyes előírásaikban azonban nehezen egyeztethetők össze az intézményi önértékelési rendszerrel. Eltérő továbbá hallgatók (résztvevők) jogviszonyának kezelése és a pályakövetés lebonyolítása a felsőoktatással összehasonlítva.

Hatáskör és felügyelet: a felnőttképzése bevont oktatók intézményi, ezen belül – általában – kari és intézeti erőforrások, „felhasználásukról” az intézetigazgató és a dékán dönt. Ha a felnőttképzési tevékenység is ilyen hatáskörben van, akkor viszonylag egyszer a helyzet, ám ha külön szervezeti egységről van szó, akkor felsőbb szintű megállapodások is szükségesek, sőt az oktatókkal való szerződéskötéshez rektori és kancellári engedélyre is szükség lehet. Összetettebb a tevékenységek külső felügyelete, ami intézményi és program szintű elemek együttese, a vizsgálatok és ellenőrzések gyakorlatilag folyamatosak, erre pedig a minőségügyi rendszert is fel kell készíteni (egyrészt az is vizsgálat tárgya lehet, másrészt adatszolgáltatási feladata van).

4. SZERVEZETI VAGY EGYSÉG SZINTŰ MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI RENDSZER

A felnőttképzéssel foglalkozó jogszabályok figyelembe vételével a minőségbiztosítási rendszer fókuszában a felnőttképzéshez kapcsolódó oktatási-képzési, adminisztratív és tájékoztatási feladatok állnak, önmagában azonban ezek fejlesztése nem kivitelezhető (1. ábra). A minőségbiztosítás alapját a jogszabályi előírások mellett a munkaerőpiac elvárásai adják, de felsőoktatási környezetben megfontolandó a vonatkozó minőségi standardok (Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area – ESG) adaptálása is, mivel ez megkönnyíti a szervezeti és egység szintű minőségügyi feladatok ellátását. Ezek alapján kell kialakítani a szervezeti kereteket, a programokat és a módszertani támogató elemeket is, ide értve az informatikai (információs) rendszereket. A folyamatok fejlesztését a tervezés és a visszamérés biztosítja, amelyeket a felnőttképzésben az önértékelés képes összekapcsolni.



1. ábra. Felnőttképzési minőségbiztosítás tartalmi elemei [9]

A rendszeres intézményi önértékelés, (korábban) a díjpályázatokra való felkészülés, továbbá az akkreditációs ellenőrzésekre való felkészülés keretet ad a minőségügyi feladatok megoldásához, e mellett azonban a gyakorlat szervezeti egység és funkció szintű megoldások kidolgozását is igényelte. Az elmúlt években több olyan fejlesztésben működtem közre, amikor az univerzális megoldáson túllépve kellett gondolkodni. Az egyedi rendszerek kidolgozását eltérő súllyal, de minden esetben – így a felnőttképzéssel kapcsolatban is – három tényező indokolta:

- a szervezeti egységre vagy funkcióra sajátos vevőkapcsolatok jellemzőek,
- külső szabályozási igény jelent meg, ami az intézményi minőségügyi rendszeren csak jelentős és célszerűtlen módosítással oldható meg,
- a szervezeti egység több vezető vagy szerv felügyelete alatt áll egyszerre, a technokratikus (szabályelvű) koordináció mellett így felértékelődnek a strukturális megoldások a problémamegoldás során.

A szervezeti egység szintű megoldások alkalmazásának előnye, hogy az egység specifikus eszközt kap a kezébe ahhoz, hogy vevői kapcsolatait megismerje és célirányosan fejlessze működését. Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a szervezeti egység a szervezet integráns része, tevékenységei és a rá vonatkozó elvárások a szervezeti célokból levezettek, amit csak a felsőbb szinten lehet átfogóan értékelni.

A minimalista, azaz a jogszabályi feltételek betartására erősen korlátozódó rendszer kiszolgálja a felnőttképzéssel kapcsolatos elvárásokat, de biztosan nem konform legtöbb elemében az intézmény minőségügyi rendszerével. A szervezeti egység saját minőségügyi rendszerének kialakításakor tehát egyensúlyt kell találni a rész és egész között annak érdekében, hogy redundanciák ne forduljanak elő. Ha a felnőttképzési tevékenység a felsőoktatási intézmény egy szervezeti egységénél koncentrálódik, akkor egyszerre kell megfelelni az intézményi elvárásoknak (részvétel az önértékelésben és fejlesztésben), továbbá a felnőttképzésre vonatkozó jogszabályi követelményeknek.

5. AZ ÖNÉRTÉKELES TARTALMA

Az önértékelés kiindulópontja és eredménye egyaránt – célszerűen – egy minőségfejlesztési terv, amely éves (esetleg kétéves időtartamra) foglalja össze a legfontosabb célokat és feladatokat. Egy ilyen terv képes összehangolni a szervezeti szintű, egység szintű és program szintű elképzeléseket. Javasolt tartalma legalább:

- összefoglaló az előző időszaki teljesítésről (amennyiben ez értelmezhető),
- szervezeti és képzési program szintű célkitűzések bemutatása (indikátorok formájában),
- a célkitűzések eléréséhez szükséges feladatok és erőforrások leírása,
- indítandó felmérések köre és célközönségének meghatározása.

A minőségfejlesztési terv mellett szükség van egy – elsősorban belső, egység szintű célokat szolgáló – önértékelési jelentés:

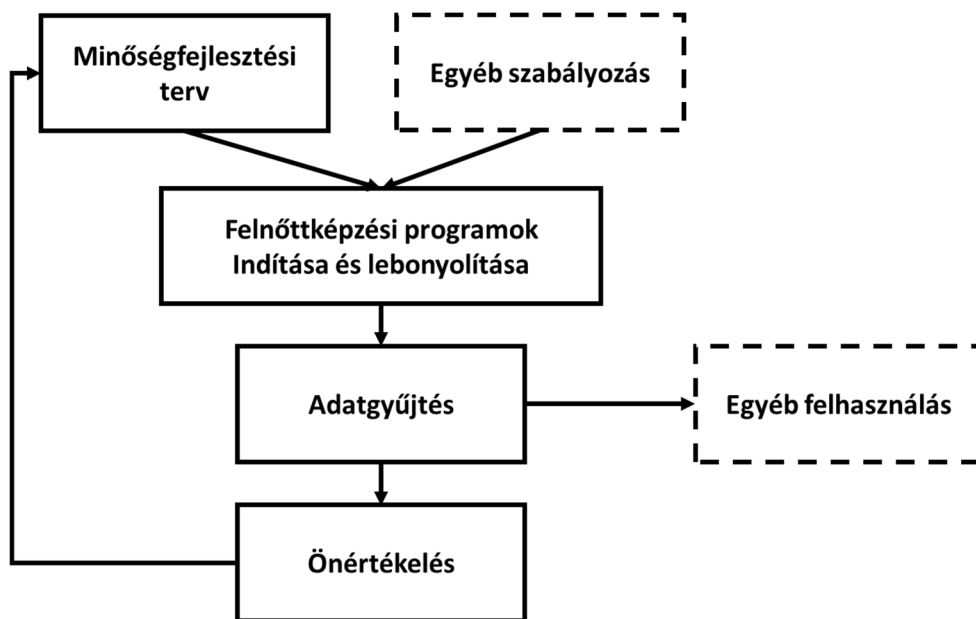
- az önértékelést végző munkacsoport bemutatása,
- a minőségfejlesztési terv teljesülésének értékelése,
- panaszkezelés, helyesbítő és megelőző tevékenységek hatékonyságának értékelése,
- átfogó pontozásos értékelés eredményei (számszerű és szöveges értékelés, lásd később),
- fejlesztési területek kijelölése.

Az önértékelést munkacsoportban célszerű megvalósítani, amelyben képviselteti magát a felnőttképzést folytató szervezeti egység vezetősége, alkalmazottai, a felsőoktatási intézmény vezetősége, az érintett oktatók és a külső partnerek is. A munka során át kell tekinteni:

- az önértékelési időszakkal érintett minőségfejlesztési tervet,
- a képzési programok dokumentációja, ide értve a kapcsolódó minőségcélokat és teljesülésük indikátorait,
- a képzési programok végrehajtáshoz szükséges személyi és tárgyi feltételeket, továbbá a pénzügyi erőforrások felhasználását,
- a képzésben részt vevők előrehaladására és teljesítményére vonatkozó információt,

- a munkáltatók és munkaerőpiac véleményét,
- az oktatók alkalmazásával, kompetenciafejlesztésével és teljesítményével kapcsolatos adatokat és információt,
- a panaszkezelés, a helyesbítő és megelőző tevékenységek eredményét,
- a minőségbiztosítási rendszer dokumentációját és működésének tapasztalatait,
- a minőségbiztosítási rendszerhez kapcsolódó indikátorokat.

Az önértékelés logikáját a 2. ábra foglalja össze.



2. ábra. Önértékelés folyamata

Az értékeléshez – a felsőoktatási minőségirányítás sajátosságai miatt (lásd: [10]) – EFQM alapú megoldást javaslok, testreszabott tartalommal, de követve az eredeti modell logikáját abban, hogy az adottságok (1. táblázat) és eredmények (2. táblázat) tényezőit külön veszi számba. A kritériumok mentén pontozással megállapítható az egyes területek teljesítménye, így kijelölhetők a fejlesztési feladatok, továbbá nyomon követhető az érintettek elégedettségének mértéke és – több év eredményének összehasonlításával – változása is.

1. Táblázat Önértékelési kritériumok - adottságok

Adottságok	
Működés kialakítása	Vezetés elkötelezettsége
	Minőségfejlesztési terv alkalmazhatósága
	Belső információs rendszer
	Képzési programok aktualitása
Partnerkapcsolatok	Együttműködés az intézménnyel
	Együttműködés oktatókkal
	Együttműködés a munkaadókkal
	Együttműködés külső szolgáltatókkal
Erőforrások	Infrastruktúra
	Oktatók kompetenciái
	Pénzügyi erőforrások

2. Táblázat Önértékelési kritériumok - eredmények

Eredmények	
Érintettek elégedettsége	Hallgatók elégedettsége
	Oktatók elégedettsége
	Nem oktató dolgozók elégedettsége
	Munkaadók elégedettsége
	MEFRK külső megítélése
Kulcseredmények	Indikátorok teljesülése
	Minőségfejlesztési Terv teljesülése
	Pénzügyi eredmények

ÖSSZEFOGLALÁS

A felnőttképzés minőségbiztosítására vonatkozó jogszabályi követelményeinek teljesítése sajátos kihívásokat generál felsőoktatási környezetben. A részben eltérő képzési és szabályozási sajátosságok mellett közös cél az intézményi szintű stratégia hatékony megvalósítása, ami integrált, de többszintű minőségbiztosítási rendszert igényel. A tanulmányban bemutatott önértékelési logika és eszközrendszer lehetővé teszi e kritériumok teljesülését, ugyanakkor rugalmasan képes alkalmazkodni a változó szabályozási és piaci környezethez egyszerre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BENEDEK A.** (szerk.): *A felnőttképzés módszertani kérdései*, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008.
- [2] **AMBRUS-SOMOGYI K., HEGYESI F.:** *A felsőoktatás felnőttképzési lehetőségei ,e-learning a felnőttképzésben*, Óbuda University E-Bulletin, 2011, 2(1), 329–340.
- [3] **MÓCZ D.:** *Az andragógia elmélete, története, társadalmi funkciói, gyakorlata*, Eötvös Kiadó, Budapest, 2013., ISBN: 9789639955417
- [4] **CSOMA GY.:** *A felnőttoktatás rendeltetése*. Új Pedagógiai Szemle 1995, 2, 3–15.
- [5] **QUENDLER E., MATTHEW L.:** *Learning as a lifelong process - meeting the challenges of the changing employability landscape: competences, skills and knowledge for sustainable development*, International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning, 2016, 26(3), 273-293.
- [6] **POLÓNYI I.** (szerk.): *A felsőoktatás minősége*, Felsőoktatási Kutatóintézet, Budapest, 2006., ISBN 9789634044130
- [7] **SUSÁNSZKY J.:** *Szervezés és vezetélmélet*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1980., 54-55.
- [8] **ZIELENIEWSKI J.:** *Szervezés és vezetés*, Kossuth Könyvkiadó-Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [9] **BERÉNYI L.:** Szervezeti egység szintű minőségirányítás a felnőttképzésben, 2016, 25(11), 38-45.
- [10] **SZINTAY I.:** *Minőségkultúra a teljesítmény szolgálatában: Európai sztenderdek*, In: **HRUBOS I., TÖRÖK I.** (szerk.): *Intézményi menedzsment a felsőoktatásban 2.: Szemelvények kiemelt témakörökben*. Budapest: Felsőoktatási Gazdasági Szakemberek Egyesülete, 2012, 368-379.

NAPELEM KARAKTERISZTIKÁK HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

DETERMINATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF SOLAR PHOTOVOLTAICS IN CASE OF LABORATORY CONDITIONS

BODNÁR István

Ph.D., egyetemi adjunktus, vegybod@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A tanulmány a napelem-karakterisztikák hőmérsékletfüggését mutatja be, hűtött és hűtés nélküli napelemek laboratóriumi vizsgálatán keresztül. A napelemek által leadott villamos energia feszültségét és áramának erősségét a hőmérsékletváltozás jelentős mértékben befolyásolja. A hőmérséklet növekedésének eredményeként az üresjáratú és a terhelt napelem kapcsolófeszültsége egyaránt csökken, amely közvetlenül teljesítménycsökkenést és hatásfokromlást eredményez. A besugárzó fény intenzitásának növekedése lineárisan növeli a napelem által leadott áramot, aminek következtében a napelem hőmérséklete az átfolyó áramok négyzetével arányosan nő, amely végeredménye a feszültség csökkenés, azaz a hatásfok romlása. Mindezek kiküszöbölése érdekében szükséges a napelem hőmérsékletének csökkentése. A dolgozatban különböző hőmérsékleten végzett mérésekhez tartozó jelleggörbék kerülnek bemutatásra.

Kulcsszavak: napelem, hőmérsékletfüggés, hatékonyság, Napszimulátor

Abstract: This paper presents the temperature dependence of solar cell characteristics by laboratory measurements in case of cooled and non cooled solar cells. The voltage and current level of electricity, provided by solar cells are highly influenced by the temperature change. The output voltage level of both an idle and a loaded solar cell is decreased by the temperature increase which also leads to power decrease and efficiency deterioration. The intensity increase of the irradiating light linearly increase the current, provided by the power cell which highly increase the temperature of the solar cell and that leads to voltage decrease and efficiency deterioration too. To prevent these processes it is needed to reduce the temperature of the solar cells. The measured characteristic curves at different temperatures are presented in this paper.

Keywords: photovoltaic, solar cell, temperature dependence, efficiency, solar simulator

1. BEVEZETÉS

Világunk egyik központi eleme az energia. Manapság egyre jobban előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, legfőképpen Földünk éltető eleme, a Nap, tehát aktuális téma a napenergia számunkra előnyös átalakítására szolgáló berendezések vizsgálata. A Nap nemcsak minden földi élet fenntartója, hanem egész naprendszerünk központi égiteste, melyben fúziós folyamatok zajlanak le. Hidrogén atomok egyesülnek hélium atomokká, mely reakció során fellépő tömegvesztesség (4 millió *tonna/sec.*), energiává alakul át. 1 kg hélium képződésekor körülbelül 180 millió *kWh* energia szabadul fel. A Föld atmoszférájának határára a Napból 1,37 *kW/m²* energiájú sugárzás érkezik, ezt nevezzük napállandónak. A napsugárzás energiája jelentős mértékben lecsökken mire a földfelszínre ér, így maximálisan 1.000 *W/m²* fényintenzitás tapasztalható szép, napos nyári időben, amelynek mintegy harmada a direkt sugárzás a fennmaradó rész pedig szórt fény formájában érkezik a felszínre [1].

Míg a napkollektorok a szórt sugárzást is kedvező hatásfokkal, addig a napelemek jellemzően csak a direkt sugárzást tudják hasznosítani. A működésüket a napsugárzás összetétele és intenzitása mellett a környezeti, valamint az üzemi hőmérséklet is befolyásolja, ezért vált szükségessé a vizsgálatuk.

2. A NAPELEMEKRŐL RÖVIDEN

A napelemek olyan berendezések, amelyek a napenergiából közvetlenül villamos energiát képesek előállítani, működésük alapja a fényelektromos hatás. A lakossági és ipari felhasználásban is egyre nagyobb számban alkalmazzák őket. Fejlődésük következményeként hatásfokuk egyre növekszik, míg előállítási költségük csökken. A típusától függően a napelem hatásfoka elérheti a 22%-ot is. A jelenleg használt napelemek döntő többsége szilícium félvezetőkön alapszik, de folyamatos kutatások irányulnak új technológiák fejlesztésére, melyekkel az eddigi maximális hatásfokok javíthatók [2]. A napelemeknek három típusa terjedt el: az amorf, amely átlagos hatásfoka 5–8%, a polikristályos, ami 8–13% hatásfokkal működik és a monokristályos, amely hatásfoka meghaladhatja a 13–18%-ot.

2.1. Napelem áramerősségének és feszültségének hőmérsékletfüggése

A napelem kivezetésein U_{ii} üresjárási feszültséget és I_r rövidzárási áramot mérhetünk. Ha terhelést kötünk a napelem sarkaira, akkor U feszültséget és I áramot tapasztalhatunk, amelyek rendre kisebbek, mint a terhelés nélküli esetben tapasztalt értékek. A kivezetéseken mérhető I áram az $I_{sötét}$ sötétáram és az I_{foto} fotoáram különbségéből adódik, a sötétáram a napelem félvezető jellegéből adódóan exponenciálisan függ a hőmérséklettől és lineárisan az I_s telítési áramtól, ezt a (1)-es képlet írja le [3]:

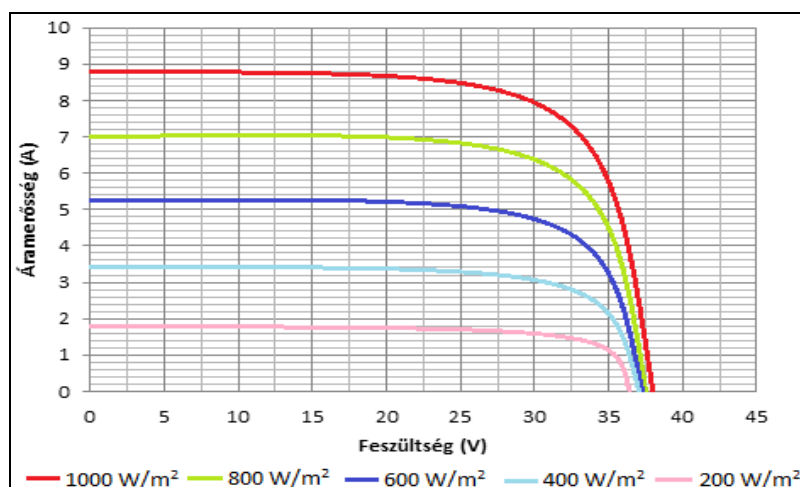
$$I = I_{sötét} - I_{foto} = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - I_{foto} . \quad (1)$$

Az $U=0$, illetve az $I=0$ behelyettesítéssel könnyen kifejezhető a rövidzárási áram (2) és az üresjárási feszültség (3). Az üresjárási feszültség logaritmikusan függ az áramviszonyoktól és lineárisan az U_T hőmérsékletfüggő termikus feszültségtől. Ennek megfelelően:

$$I_r = I_{foto} , \quad (2)$$

$$U_{ii} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_{foto}}{I_s} + 1\right) = U_T \ln\left(\frac{I_{foto}}{I_s} + 1\right) . \quad (3)$$

Az 1.-es ábrán megfigyelhetők ezen U - I karakterisztikák eltérő fényintenzitások esetén.



1. ábra. Napelem feszültség-áramerősség jelleggörbéi eltérő fényintenzitások esetén

Látható, hogy a rövidzárási áram egyenesen arányos a megvilágítás erősségével, hisz a fotoáram nagysága a fényintenzitással nő és a (2) képlet kimondja, hogy a fotoáram megegyezik a rövidzárási árammal. A (3) összefüggésből láthatjuk, hogy a kivezetéseken mérhető üresjárási feszültség pedig logaritmikusan függ a felületre érkező fényintenzitás nagyságától.

2.2. Teljesítmény és hatások függése a hőmérséklettől

A napelem kapcsaira kapcsolt R ellenállással modellezhető terhelésen átfolyó I áramerősség és a rajta eső U feszültség szorzataként számolható a napelem hasznos P teljesítménye [4]:

$$P = IU = I_r U - I_s U \exp\left(\frac{U}{U_T} - 1\right). \quad (4)$$

A napelemről az adott megvilágítás mellett a maximális teljesítmény levétele terhelésillesztési feladattal oldható meg. A (3) összefüggés szélsőértékének megkereséséhez parciálisan deriváljuk a függvényt U szerint és keressük a $\frac{\partial P}{\partial U} = 0$ egyenlet megoldását. Ebből kifejezhető a maximális teljesítményhez tartozó munkaponti- áramerősség (5) és feszültség (6) [3]:

$$I_m = -\frac{U_m}{U_T} I_s \exp\left(\frac{U_m}{U_T}\right) \approx -I_r \left(1 - \frac{U_m}{U_T}\right), \quad (5)$$

$$U_m = U_0 - U_T \ln\left(1 + \frac{U_m}{U_T}\right). \quad (6)$$

Az Ohm törvény alapján az (5) egyenletből kifejezhető az optimális terhelés értéke [3]:

$$R_m = -\frac{U_m}{I_m} = \frac{U_T}{I_s \exp\left(\frac{U_m}{U_T}\right)} = \frac{U_T}{I_m + I_s + I_r}, \quad (6)$$

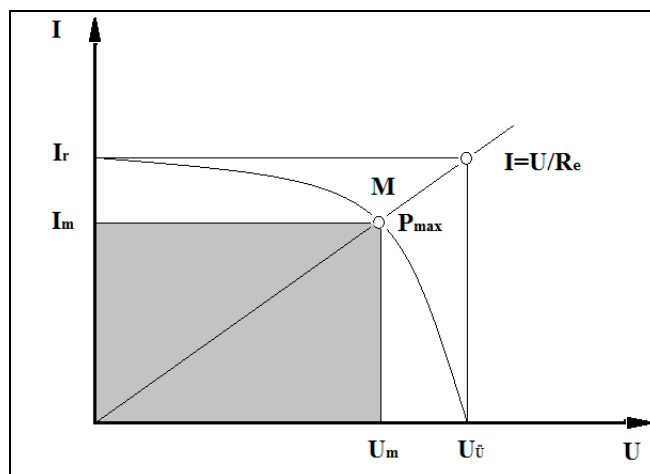
A terhelő ellenállás értéke ideális esetben megegyezik a napelem belső ellenállásának az értékével. Az úgynevezett φ térkitöltési tényező mutatja meg azt, hogy a munkaponti feszültség- és áramerősség szorzata hogyan viszonyul az üresjárási feszültség- és áramerősség szorzatához [4]:

$$\varphi = \frac{U_m I_m}{U_0 I_r}, \quad (7)$$

A térkitöltési tényező, vagy más néven forma tényező (fill factor) értéke függ a napelem megvalósításától és a megválasztott munkaponttól [3]. A φ értéke a gyakorlatban használt napelemek esetén 0,75 és 0,85 értékek között mozog. A 3.-as ábrán látható, hogy a térkitöltési tényező megmutatja, hogyan aránylik egymáshoz a maximálisan levehető teljesítmény téglalapja (szürke téglalap) és az $I_r \cdot U_0$ szorzat által meghatározott téglalap területe.

A napelem modul η_{max} maximális hatásfoka a napelem által leadott maximális teljesítmény és a hasznos felületre eső $P_{fény}$ fénytelteljesítmény hányadosából számítható ki:

$$\eta_{max} = \frac{I_m U_m}{P_{fény}} = \frac{\varphi I_r U_0}{P_{fény}}. \quad (8)$$



3. ábra. A maximálisan levehető teljesítmény munkapontja a napelem U-I jelleggörbéjén [4]

3. A MÉRÉSI RENDSZER FELÉPÍTÉSE

3.1. A Napszimulátor

A vizsgálatok elvégzéséhez a korax solar által gyártott KS-85 típusú monokristályos napelemet használtam. A megfelelő fényviszonyok kialakítása nagyon fontos része volt a mérési berendezés megépítésének. A természetben tapasztalható fényviszonyok megközelítése rendkívül nehéz, ugyanis figyelni kell a fény intenzitásának erősségére és eloszlásának egyenletességére, emellett a megvilágítás és a napsugárzás fényspektrumának hasonlóságára. Az IEC 60 904-9 (Napszimulátor teljesítőképességi követelményei) szabvány alapján különböző osztályokba sorolható a megvilágítás aszerint, hogy milyen a fényintenzitás-eloszlás homogenitása. A legrosszabb, C típusú eszközöknél a $\pm 10\%$ eltérés még megengedett. Tehát a természetben előforduló maximális 1.000 W/m^2 fényintenzitást alapul véve, $900\text{--}1.100 \text{ W/m}^2$ értékek közt mozoghat a fényintenzitás értéke szabványos megvilágítás esetén. A rendelkezésemre álló reflektorok nem tették lehetővé, hogy a szabvány által előírt kritériumokat teljesítem, ezért a jelenleg egy újfajta Napszimulátor kialakításán dolgozom. A Napszimulátor intenzitás-eloszlását az 4. ábra szemlélteti. A megvilágítás inhomogenitását az (9) összefüggés írja le:

$$\Delta E = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \cdot 100, \quad (9)$$

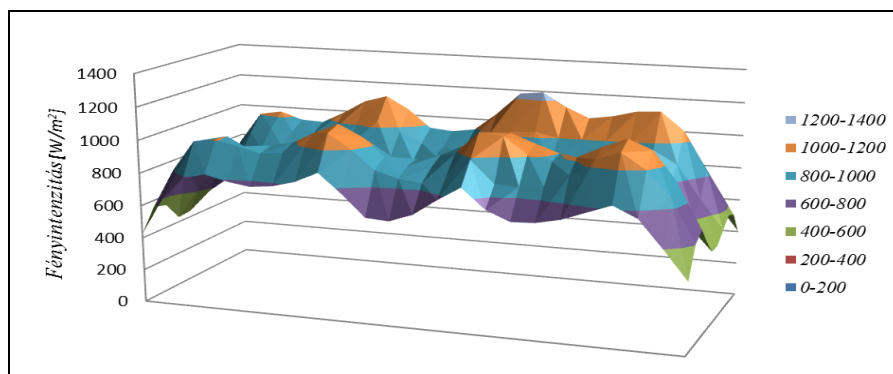
ahol:

ΔE – a megvilágítás inhomogenitásának mértéke [%];

E_{\max} – a maximális fényintenzitás értéke $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]$;

E_{\min} – a minimális fényintenzitás értéke $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]$.

A mérési összeállításban $E_{\max} = 1.245 \text{ W/m}^2$, $E_{\min} = 407 \text{ W/m}^2$ és $\Delta E = 50,73\%$.



4. ábra. Reflektorok elrendezési vázlata a hozzátartozó fényintenzitás eloszlással

Az (9) összefüggés alapján megállapított jelentős inhomogenitás abból fakad, hogy a megvilágított felület sarkain drasztikusan lecsökken a fényintenzitás értéke. Azonban, ha megnézzük az ábrázolt fényintenzitás-eloszlást, jól látható, hogy e felület igen kis hányada a hasznos felületnek, tehát a napelem fennmaradó hányadára nézve a fényintenzitás-eloszlás homogenitása kielégítőbb.

A napelemre jutó átlagos fényintenzitás értékét a (10) képlet alapján számolhatjuk a korábban megállapított valós fényintenzitás eloszlás-mátrix elemeiből.

$$E_{\text{átlag}} = \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{24} (E_{ij} \cdot A_{\text{cella}}) \right) \cdot \frac{1}{A_{\text{napelem}}} \quad , \quad (10)$$

ahol:

- $E_{\text{átlag}}$ – a napelemre eső átlagos fényintenzitás értéke W/m^2 ;
- E_{ij} – az egyes cellákra eső fényintenzitás értéke W/m^2 ;
- A_{cella} – egy cella területe ($A_{\text{cella}} = 0,0025 \text{ m}^2$);
- A_{napelem} – a napelem felületének nagysága ($A_{\text{napelem}} = 0,5695 \text{ m}^2$).

A mérési összeállításban $E_{\text{átlag}} = 861,267 \text{ W/m}^2$. Ez kissé elmarad a természetben tapasztalható maximális 1.000 W/m^2 -től. Ez a fényintenzitás érték egy napos, de kissé felhős napon tapasztalható fényintenzitás értékével egyezik meg.

3.2. Az összeépített rendszer és elemei

A napelem egy vele megegyező méretű asztalon lett elhelyezve úgy, hogy a napelem két rövidebb széle alá egy-egy 50 mm vastagságú falecet helyeztem, ezzel kialakítva egy áramlási csatornát a napelem hátlapja és az asztallap között. A hűtésre szolgáló hideglevegőt egy *Orion CSHP 9001 C4* típusú mobil klíma biztosította. A klímából kiáramló hideg levegőt a már korábban említett áramlási csatornához műanyag fólia segítségével vezettem, amelyek pufferként is viselkedve kellően egyenletessé tették az áramlást. Előzetes hőmérsékletvizsgálatok azt mutatták, hogy a napelem hátlapja hasonló mértékben felmelegszik, mint az abszorber felülete. E tapasztalat alapján elmondható, hogy a napelem hátlapján is lehetőség van hőenergia elvonására, tehát e hűtési eljárás működőképessége megalapozott volt. A megvalósított berendezés az 5. ábrán látható.

A napelem felületének hőmérsékletét egy *YC-747D* típusú négycsatornás digitális hőmérővel mértem. A négy érzékelőt a napelem négy különböző pontjára helyeztem el. A továbbiakban a négy vizsgált pont átlagából képzett hőmérsékletet tekintettem a napelem

hőmérsékletének. Az érzékelőket az eredmények pontossága miatt jó hővezető tulajdonságú alumínium szalaggal rögzítettem a napelem felületéhez, ügyelve arra, hogy a kitakart felület nagysága elhanyagolhatóan kicsi legyen.



5. ábra. A mérési elrendezés

A megvilágított napelem átlaghőmérséklete hűtés nélkül elérte a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Ezzel az eljárással a napelem hőmérsékletét $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal sikerült lecsökkentenem. A további hűtés érdekében a napelem abszorber felületén próbáltam hőt elvonni, amihez egy *TT 150* típusú csőventilátort használtam fel. A reflektortartó állványhoz rögzített drótkeret (mint kivezető nyílás) és a ventilátor közt az áramlási csatornát a már korábban is használt műanyag fólia segítségével alakítottam ki. E megoldás kiszélesítette az áramlási teret, így a napelem nagyobb felületén érvényesült a hűtő hatás, viszont hátrányként meg kell említeni, hogy kis mértékben lelassította az áramlást. A klíma és a ventilátor együttes használata esetén a napelem átlaghőmérséklete $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal csökkent. Ezután a ventilátor kivezetésén kiáramló levegőt közvetlenül a napelem felületére irányítottam, tehát nem alkalmaztam a korábbiakban bemutatott terelőt. Ez esetben az áramlás sebessége nem csökkent és további $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletcsökkenést sikerült elérni. Tehát a klíma és a ventilátor ilyen módú együttes használata $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletcsökkenést eredményezett. Ekkor a napelem átlaghőmérséklete $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

A napelem terhelését egy nagyteljesítményű tolóellenállással modelleztük, amelynek ellenállása mérések alapján $0,7\text{--}7,2\text{ }\Omega$ értékek közt volt változtatható. A napelem által előállított feszültség és áramerősség egyidejű méréséhez egy *Protek DM-301* és egy *METEX M-3650D* típusú digitális multimétert használtam.

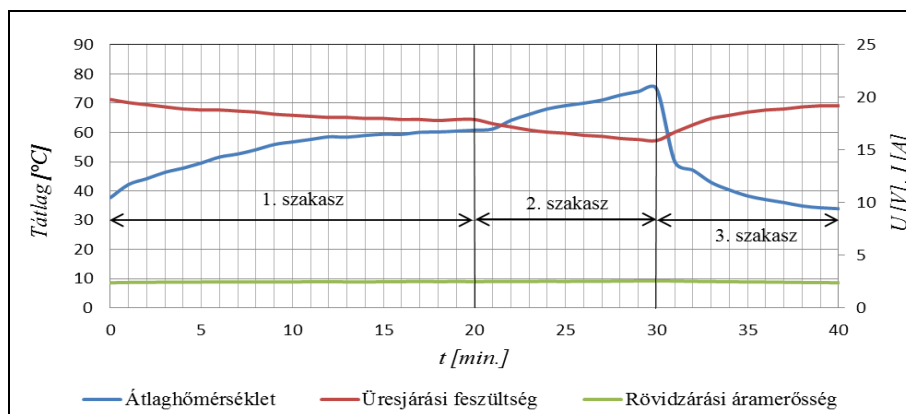
4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK, NAPELEMKARAKTERISZTIKÁK

4.1. Hőmérsékleti tranziens vizsgálata

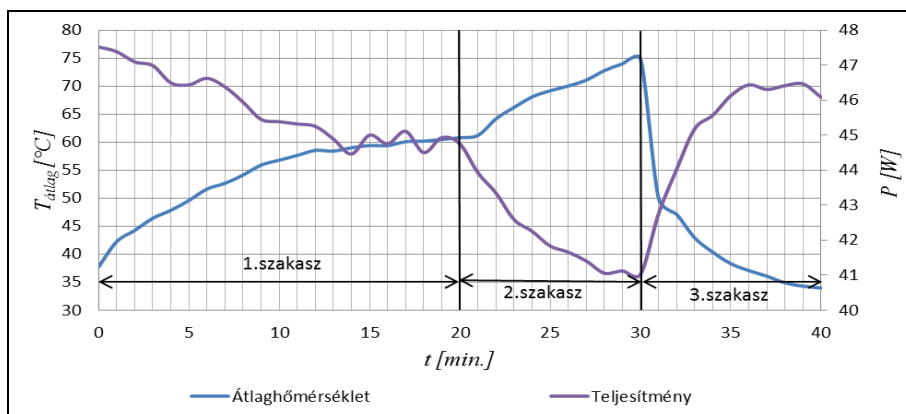
A tranziens vizsgálatot elvégeztem terheletlen és terhelt, maximális munkapontra történő szabályozott napelemmel is. Első esetben a megvilágítás bekapcsolásával egyidejűleg működésbe hoztam a mobil klímás hűtési rendszert. 20 percen keresztül mértem percenként a napelem négy pontján tapasztalható hőmérsékletet, a cellák által generált üresjárási feszültséget és rövidzárási áramot (1. szakasz). Ezután kikapcsoltam a hűtési rendszert és 10 percen keresztül 10 mérési pontban ismételtam a mintavételezést (2. szakasz). Miután a napelem hőmérséklete állandósult a korábbiakban ismertetett csőventillátoros hűtés beiktatása segítségével a napelemet visszahűtöttem a kiindulási hőmérsékletre (3. szakasz). A hőmérséklet-idő, a feszültség-idő és az áramerősség-idő grafikonokat a 6. ábra tartalmazza. Látható, hogy a hőmérséklet növekedésének hatására az üresjárási feszültség csökkent, míg az

áramerősség csak kismértékben növekedett. Fordított esetben, mikor a napelem lehűlt a feszültség nőtt, az áramerősség pedig csökkent, hasonló mértékben. Tehát e kísérlet során igazolni tudtam a szakirodalom által leírt jelenséget. A vizsgálat során a hőmérséklet változására bekövetkező elméleti teljesítményváltozást a 7. ábrán figyelhetjük meg.

Tapasztalható, hogy az elméleti teljesítmény a hőmérséklet változásával ellentétesen alakul. E jelenség a 6. ábrán bemutatott üresjárás feszültség és rövidzárási áramerősség hőmérsékletfüggése és az elméleti teljesítmény számítási módja (4) alapján feltételezhető volt.



6. ábra. A hőmérséklet, a feszültség és az áramerősség megjelenítése az idő függvényében

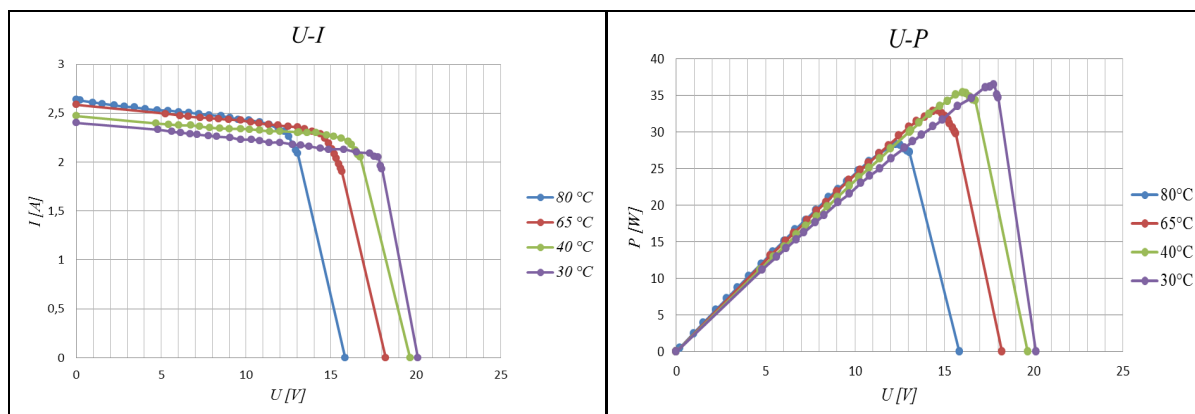


7. ábra. Az elméleti teljesítmény és a hőmérséklet megjelenítése az idő függvényében

4.2. Állandó hőmérsékleten kapott karakterisztikák

Az állandó hőmérsékleten folytatott kísérletek célja az volt, hogy adott hőmérsékleten megállapítsam a napelem feszültség-áramerősség és feszültség-teljesítmény karakterisztikáit. Megkeressem az adott hőmérsékletre tartozó ideális munkapontot és itt kiszámoljam a napelem maximális teljesítményét, hatásfokát és térkitöltési tényezőjét. További cél volt ezen adatok birtokában a hőmérséklet és a (U, I, P, η, φ) jellemzők közti összefüggés keresése.

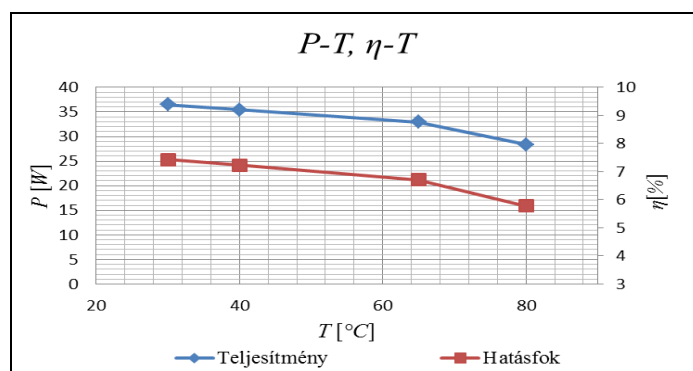
A mérések során a korábban ismertetett módszerekkel stabilizáltam egy adott értéket (80°C , 65°C , 40°C , 30°C) a napelem hőmérsékletét. A terhelést változtatva mértem a cellák által leadott feszültséget és áramerősséget. 25 eltérő terhelés mellett vételeztem adatokat, ezen kívül megmértem az adott hőmérsékleten tapasztalható üresjárás feszültséget és rövidzárási áramot. A három mérési sorozat átlagából képzett értékek alapján készített $U-I$ és $U-P$ jelleggörbék a 8. ábrán figyelhetők meg.



8. ábra. A napelem U - I és U - P jelleggörbéje

4.3. Teljesítmény és hatásfok hőmérsékletfüggése

A teljesítmény és hatásfok értékeket a 9.-es ábrán figyelhetjük meg a hőmérséklet függvényében ábrázolva. Tapasztalható, hogy jó közelítéssel lineáris a kapcsolat a hőmérséklettel mind a teljesítmény, mind pedig a hatásfok esetében.



9. ábra. A napelem teljesítményének és hatásfokának hőmérsékletfüggése

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérleti berendezés megépítése során tapasztaltam, hogy a fényviszonyok megfelelő kialakítása rendkívül nehéz feladat. A vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy a megvilágítás minősége kiemelten fontos az eredmények pontossága szempontjából. A vizsgálatok során sikerült reprodukálni a szakirodalom által leírt jelenséget, vagyis a hőmérséklet növekedésének hatására csökkent a napelem üresjárási feszültsége és növekedett a rövidzárási áramerőssége. A feszültség esetére közel azonos érték adódtak, mint a katalógus adat, az áramerősség esetében jelentős volt az eltérés, a megvilágítás nem kielégítő minősége révén.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GÖÖZ, L.:** *Energetika Jövőidőben*, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 2007
- [2] **KOVÁCS, CS.:** *Napelemek működése és alkalmazásai*, Budapest, 2008
- [3] **MIZSEI, J.:** *Napelemek laboratórium*, Segédlet, Budapest, 2003
- [4] **NEMCSICS, Á.:** *A napelem és fejlesztési perspektívái*, Budapest, 2001

A DEBRECENI IVÓVÍZ- ÉS MEGFIGYELŐ KUTAK ADATSORAIBÓL MEGHATÁROZHATÓ HŐMÉRSÉKLET-MÉLYSÉG ÖSSZEFÜGGÉSEK

TEMPERATURE-DEPTH FUNCTION IN DEBRECEN DETERMINED FROM DATASETS OF DRINKING WATER AND MONITORING WELLS

BUDAY Tamás

Ph.D., tanársegéd, buday.tamas@science.unideb.hu

Ásvány- és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem, H-4032, Debrecen, Egyetem tér 1.

Kivonat: A felszín alatti hőmérsékleteloszlás vizsgálata jelentős számú és megfelelő eloszlású kút meglétét igényli. E kutak archív adatainak elemzésével nem csak a térbeli, hanem az időbeli hőmérsékletváltozások is bizonyíthatóak lehetnek. Kutatásomban több mint 200 debreceni kút kataszteri adatai alapján kimutattam a felszíni melegedéshez köthető változásokat a hőmérséklet-mélység adatsorokban, melyeket a városi hősziget jelenség okozhat. A meghatározott lineáris profilok azonban a hőmérsékletmérés pontossága és a hiányzó teljes hőmérséklet-profilok hiányában csak részlegesen fogadhatók el és rámutatnak a jövőbeni rendszeres és módszeres hőmérséklet karotálások fontosságára.

Kulcsszavak: talphőmérséklet, kifolyó víz hőmérséklet, Debrecen, hőmérséklet-mélység összefüggés, városi hősziget

Abstract: Studying underground temperature distribution requires appropriate number and distribution of the available wells. By analysing their archive temperature data theoretically not only the spatial distribution but also temporal changes could be proved. In this study changes in the temperature-depth profiles of Debrecen became detected based on the temperature data of more than 200 wells. These changes derive from the warming of surface probably caused by urban heat island phenomenon. However, determined temperature-depth profiles describe the reality partially due to the unfavourable accuracy of the temperature measurement and lack of complete shut-in temperature-depth profile measurements and datasets show the importance the systematical temperature logging.

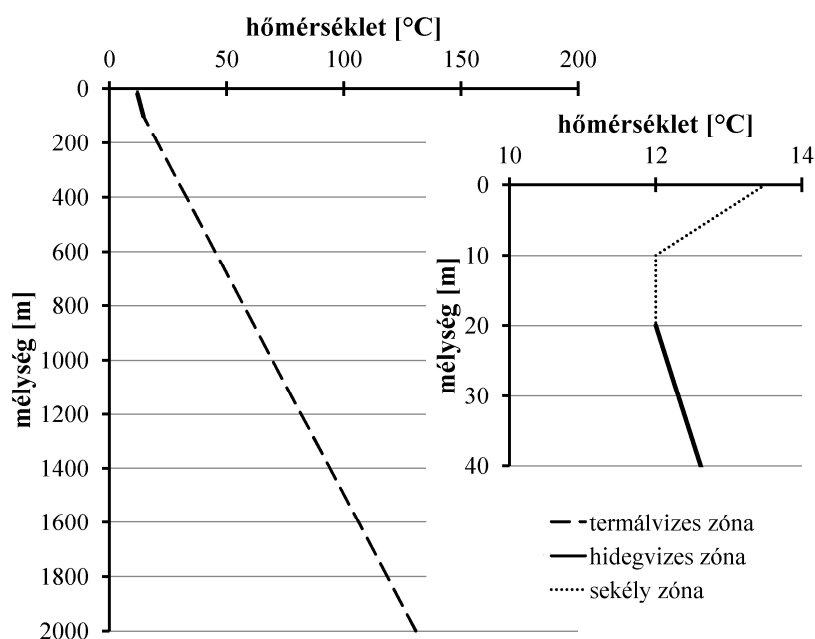
Keywords: bottom hole temperature, wellhead temperature, Debrecen, temperature-depth profile, urban heat island

1. A VÁROSI HŐSZIGET MEGJELENÉSE A FELSZÍN ALATTI HŐMÉRSÉKLET ÉRTÉKEKBEN

A felszín alatti vizek hőmérsékletének mélység szerinti változásának elemzése elsősorban a mélyebb rezervoárok vizének vagy hőtartalmának hasznosításában, paleoklimatológiai, medencefejlődési vizsgálatokban kapott jelentős szerepet. A mérési technológiák fejlődésével egyre több és pontosabb hőmérsékleti adatot gyűjtöttek a felszín alatti térrészből is, így a sekély zónák hőmérsékleti értékeinek gyakorlati vonatkozásai is felértékelődnek. A jelenlegi energetikai trendeknek megfelelően ezeket az adatokat a városi hőtöbblet tanulmányozásában, a néhány tíz méter mélységű térrész geotermikus energia tartalmának megállapításában, a vízhasznosítás lehetőségeinek bővítésében, illetve a felszín alatti építmények és a környezet közötti hőcsere megismerése szempontjából is hasznosítják [1], [2].

A világon számos helyen elvégzett elemzések arra mutatnak, hogy különösen a hosszabb ideje jelen lévő települések, és a nagy lakosságszámnak köszönhetően a városok alatt hőmérséklettöbblet alakul ki. Ez a jelenség megfelel a felszíni hőmérséklet emelkedésének, amit klasszikusan városi hőszigetnek hívnak, és kialakulása részben a felszíni léghőmérséklet növekedésének, részben az antropogén eredetű hőkibocsájtásnak és hőterjedésnek köszönhető [3], [4], [5].

A Debreceni Egyetem Földtudományi Intézetében végzett kutatásaink (pl. [6], [7], [8]) rámutattak arra, hogy Debrecen esetében a felszínen általánosan, a felszín alatti térrészben pedig a vizsgált városperemi pontokon ez a rurális térségekhez képest megjelenő hőtöbblet kimutatható. Emellett ismert volt a Hajdúszoboszló-Debrecen rezervoáron a termálkutakra vonatkozó hőmérséklet-mélység összefüggés is [9], melyeket egy szélesebb, de kevésbé pontos hőmérsékleti adatokkal rendelkező adatbázis alapján jól össze lehetett kötni (1. ábra). Jelen kutatás célja, hogy egy területileg és az adatok elfogadhatósága szempontjából szűkített és pontosított adatbázison feltárjuk a hőmérséklet mélység szerinti összefüggését a 20–200 m mélységű rezervoároknak Debrecen területén, vizsgálva a területi és időbeli változások kimutathatóságát is.



1. ábra. A korábbi vizsgálatok által feltárt hőmérséklet-mélység összefüggések [9]

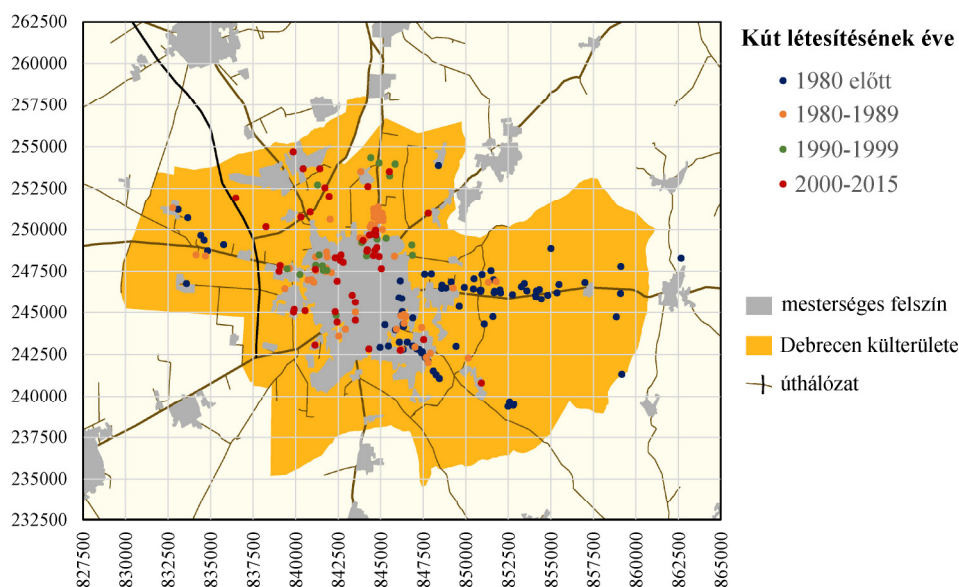
A vizsgálati terület a Hajdúság és a Nyírség középtájának határán helyezkedik el. Mindkét táj fiatal fejlődésének alapját a pleisztocén folyóvízi üledékképződési környezetek, illetve időszakosan a tavi fáciesek rétegsorai alkotják [10]. Az alapvetően törmelékeny üledékek kifejlődése változatos, víztermelési szempontból a pliocén fekvő felett Marton és Szanyi három vízadót és köztük két félvízárót különít el [11]. A vizsgált hőmérsékletadatok elsősorban a vízadókból származnak, melyek jellemző mélysége Debrecen vonalában: első vízadó: 5–50 m, 2. vízadó: 80–100 m, míg a 3. vízadó, mely az úgynevezett vízműves réteg 130–200 m. A rétegek között hidraulikus kapcsolat van, a víztermelés hatására kialakuló nyomáseloszlás pedig vertikális lefelé szivárgást eredményez. Ez utóbbinak a hőmérsékleteloszlásra gyakorolt hatását jelen tanulmányban nem vizsgáltam.

2. MÓDSZEREK

2.1. A felhasznált adatok

A vizsgálati területen 216 fúrás adatait dolgoztam fel. Ezek döntő többsége vízműkút, kisebb számban öntözőkutak és monitoringkutak is megjelennek. Míg az előbbieket döntően a 3. vízadóra lettek szűrőzve, azaz talpmélységük, szűrőmélységük eléri a 130–150 m-t, addig az utóbbiak a sekélyebb zónákról is adatot szolgáltatnak. A vizsgálatba bevont kutak nagy része

1980-ban vagy később létesültek, de az időbeliség és a városközponttól való távolság vizsgálata miatt a kutak között 82 db korábban, 1960 és 1979 között létesült kút is fel lett dolgozva Ezek elsősorban a IV. számú vízmű, a város délkeleti és nyugati részén lettek kijelölve (2. ábra). A kutakra vonatkozó adatokat a Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattárban megtalálható Vízföldtani naplókön túl a korlátozottabb adattartalmú, digitálisan elérhető „Magyarország fúrásponntérképe” [12], illetve a Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere XXXVII. [13] és XXXVIII. kötete [14] szolgáltatta.



2. ábra. A vizsgálatba bevont kutak elhelyezkedése és létesítésének ideje

2.2. Hőmérsékletadatok értelmezési lehetőségei

A kutakban létesítéskor, illetve kútvizsgálatok során mért hőmérsékletadatok alapvetően három csoportba tartoznak. Minden kút esetében mérnek kifolyó víz hőmérsékletet, illetve az elmúlt időszak gyakorlata alapján a legtöbb kútban mérnek talphőmérsékletet is. Emellett a sekély kutakban is előfordul hőmérséklet karrotálás is nem termelt állapotban. Ez utóbbiról a vizsgált kutakban nem áll rendelkezésre adat, bár ez jelentené az adott földrajzi helyre értelmezhető hőmérséklet-mélység összefüggést. Néhány kút esetében a kiépítés során történt különböző mélységekből próbatermelés, melynek hőmérséklet adatai szintén rendelkezésre állnak. Ezek és a talphőmérséklet felhasználásával egy kút esetén is kirajzolódhat a hőmérséklet-mélység profil, de jellemzőbb, hogy egy adott, vagy a teljes terület összes adatát figyelembe véve egy közelítő függvénykapcsolat határozható meg.

A mérés során használt hőmérők pontossága (felbontása és érvényessége) és a megbízhatósága is jelentősen befolyásolja az értelmezhetőséget. A vizsgált tartományban 13–20 °C-os hőmérsékleteket várunk. A korai kútdokumentumokban általában 1 °C felbontással adták meg a hőmérsékletértékeket, mely a részletes vizsgálathoz nem elegendő. Szerencsére a későbbi dokumentumok már 0,1 °C felbontású adatokat is tartalmaznak. A fúrás során a kialakításra kerülő kút környezete általában melegszik, a hőmérsékletet tovább növeli a kútkialakítás során elvégzett cementezés is. Ezek a hatások az idő előrehaladtával csökkennek, de nem kizárható, hogy a mérések időpontjában még jelen vannak. A fentiek figyelembevételével a talphőmérsékleteket korrekció nélkül a mérés mélységéhez lehet rendelni.

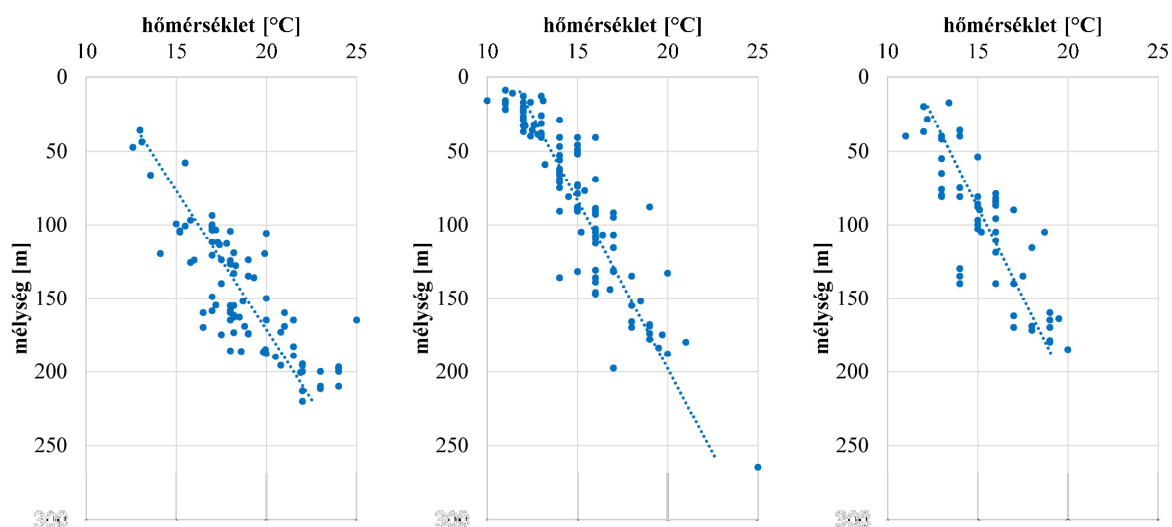
A kifolyó víz hőmérséklete a szűrőzött szakaszokat jellemzi. A vizsgált kutak 1-4 szakaszban voltak beszűrőzve, azaz a víz több különböző hőmérsékletű rezervoárból is származhatott. A víz kitermelése során a víz hőmérséklete ráadásul változhat is, minimális hűlés és melegedés is előfordulhat. A kutatás jelen fázisában az egy-két (működő) szűrővel rendelkező kutak adatait használtam fel. Az egy (működő) szűrővel rendelkező kutak száma 109 db, itt (amennyiben a reométeres vizsgálatokból más nem következett) a szűrő középértékéhez rendeltem a kifolyó víz hőmérsékletét, mint rezervoárhőmérsékletet. Két szűrő esetén a szűrők hossza, mélysége és a fajlagos hozamok segítségével adtam meg ezt a hőmérsékletértéket.

A kapott adatokra a hővezetési modellből levezethető lineáris összefüggést használva egyenest illesztettem, ahol az egyenes meredekségéből a geotermikus gradienst, tengelymetszetéből egy felszíni hőmérsékletet lehet meghatározni. Ez utóbbi azonban a felszínközeli rétegek melegedése miatt csupán teoretikus.

3. A FELSZÍN ALATTI HŐMÉRSÉKLET IDŐBELI ÉS TÉRBELI VÁLTOZÁSA DEBRECEN KÖRNYEZETÉBEN

3.1. Általános hőmérséklet-mélység összefüggések

A talphőmérsékletek mérési mélységei a 40–220 m mélységközt ölelik fel, de ennek első 50 métere eléggé adathiányos, mert a kis mélységű kutakban nem végeztek talphőmérséklet mérést (3. ábra). A számított összefüggések így a 100–200 méter közötti adatok hatását mutatják. A geotermikus gradiens $0,053\text{ }^{\circ}\text{C/m}$, a felszíni hőmérséklet $10,93\text{ }^{\circ}\text{C}$. A szűrőtartományok esetében az adatok mélységeloszlása már kiegyenlítettebb, a kisebb, akár 20 m körüli tartományból is szolgáltatnak adatokat, a maximum mélység itt 200 m. A kapott geotermikus gradiens érték $0,044\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ és $0,041\text{ }^{\circ}\text{C/m}$, míg a felszíni hőmérséklet $11,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $11,40\text{ }^{\circ}\text{C}$ rendre az egy és kétszűrős kutak esetén.

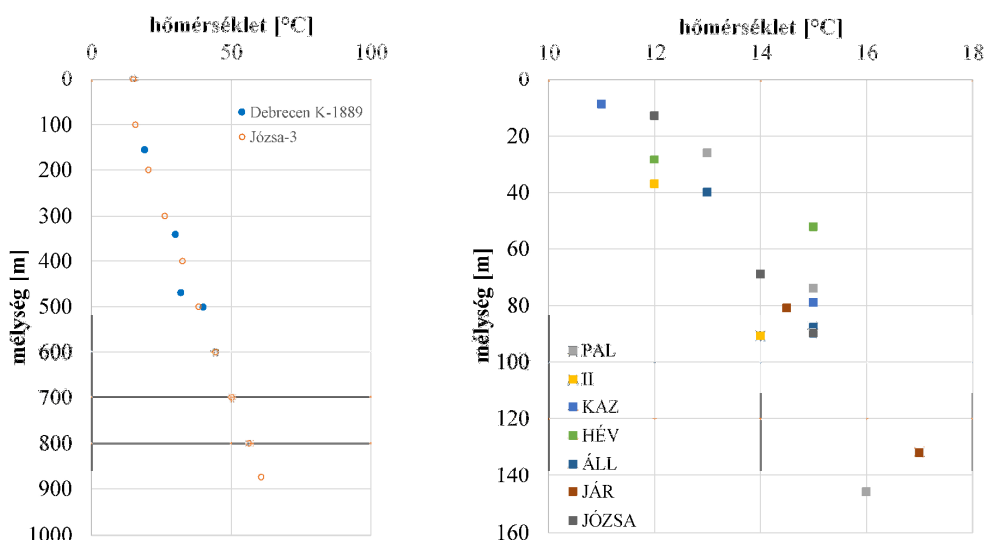


3. ábra. A teljes területről származó talphőmérséklet-mélység (bal) és kifolyóvíz hőmérséklet-mélység összefüggések egy és két (működő) szűrővel (közép és jobb) rendelkező kutakban

A monitoring kutak, illetve kútcsoportok egy része az egymás alatt elhelyezkedő vízáadó rétegek nyomásviszonyainak, vízkémiájának rendszeres ellenőrzésére lett kialakítva. Ezek egy részében történt hőmérséklet-mélység profil meghatározás, másokban a létesítéskori

adatok lehetnek alkalmasak a hőmérsékletszelvény becslésére (4. ábra). A kutak egy része azonban a legsekélyebb rétegeket (talajvizes zónát) szűrözi, melyekben a talajhőmérséklet éves ingadozása miatt a mért érték nem feltétlenül reprezentálja az éves középhőmérsékletet, másrésztől korábbi kutatások alapján a város peremi részein, ahol a megfigyelő kutak nagyobbik hányada létesült a 10 és 20 méteres zóna átmeneti jellegű, a hőmérséklet a mélységtől függetlenül konstans. A 20 méter alatti zónában már a mélységgel növekvő és éves ingadozást nem mutató hőmérsékletértékek várhatók [8].

A termálkutak esetében elvégzett adatelemzés egyrészt a mélyebb zónák geotermikus gradiensének meghatározására is alkalmas ($0,061\text{ }^{\circ}\text{C/m}$), másrészt egyes kutak mutatják a kis mélységben meghatározott hőmérsékletértékeknek a felszín alatti városi hőszigetre jellemző pozitív anomáliáját. Hasonló geotermikus gradiens határozható meg abból a kútból, ahol a kiépítés közben több réteget is vizsgáltak. Itt az egyik adat kiesik a trendből, vélhetően a nem egyenletes fajlagos hozam következtében pontatlanul meghatározott mélységérték miatt. A kútcsoportok egymás mellett telepített kutakból állnak, ahol feltételezhető az azonos hőmérséklet-mélység profil, azaz az adatok közösen is használhatók. A vizsgálati területen 7 olyan kútcsoportot sikerült feltárni, ahol a hőmérsékletnövekedés vizsgálható (4. ábra).

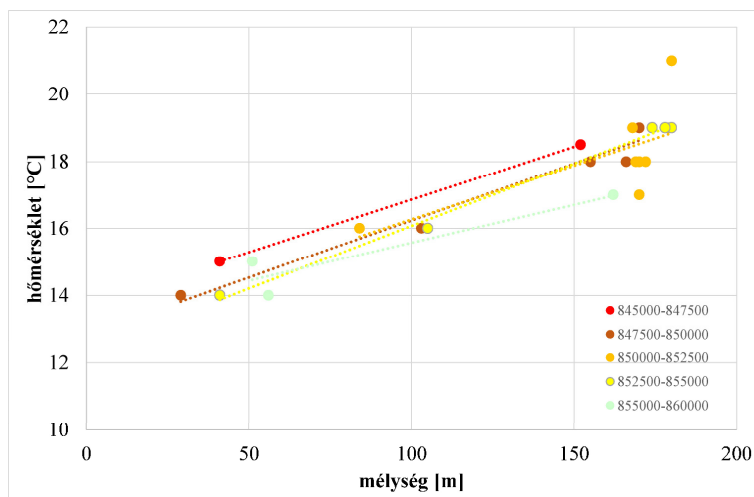


4. ábra. Azonos kútban (bal) és kútcsoport tagjaiban (jobb) eltérő mélységben mért hőmérsékletek

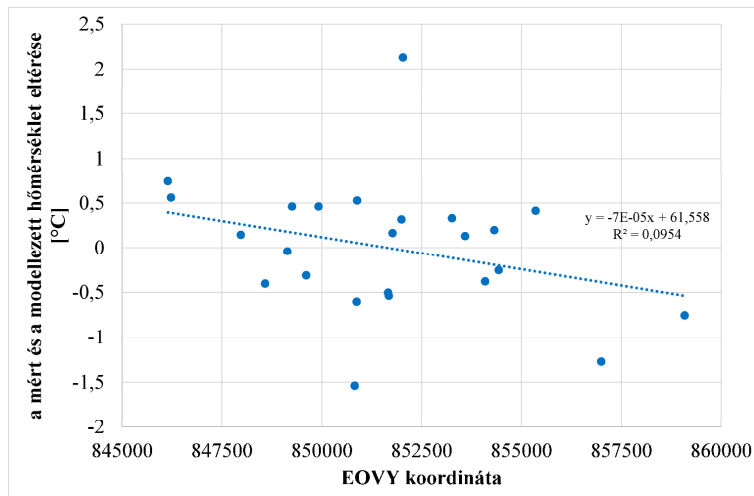
3.2. A hőmérséklet-mélység összefüggések változása a településközponttól mért távolsággal

A Debrecen keleti oldalán, a 48-as főút mentén fúrt kutak talphőmérsékleti adataiból azok kis száma ($n=20$) és kedvezőtlen mélység szerinti eloszlása miatt nem lehetett a városközponttól való távolság és a hőmérsékletek alakulására vonatkozóan egyértelmű következtetéseket levonni. A kifolyó vizek esetében 24 db, 1960 és 1983 között létesített kútra vonatkozó adatot lehetett feldolgozni, itt a mélységeloszlás is kedvezőbb volt. A kutak EOVS koordinátái alapján 2,5 km-ként csoportosítva a kutakat és a hőmérséklet-mélység profilt e csoportokra külön meghatározva a távolságtól való függés kirajzolódik, a közelebbi kutak adataira illesztett trendvonalak a vizsgálati tartományban magasabb hőmérsékletet adnak adott mélységben, mint a távolabbi kutak adataira illesztett egyenesek (5. ábra). Azonban a hőmérsékletadatok diszkrét volta és az adateloszlás miatt a kapott különbségek ($0,5\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$) nem tekinthetők szignifikánsnak. Az adatsor teljes egészére meghatározott geotermikus

gradiens $0,033\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, a felszíni hőmérséklet pedig $12,90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Az előbbi kisebb, míg az utóbbi nagyobb, mint az összes kútra meghatározott érték. Ezen összefüggés segítségével meghatároztam, hogy az egyes kutak esetében a mért hőmérsékletadathoz rendelt mélységben mekkora a várható hőmérséklet, és megadtam a várható és mért hőmérséklet különbségét a várostól való távolság függvényében. A kapott adatokból 14 kisebb mértékben tér el a várható értéktől, mint $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ami az adatok felbontása, de összességében kimutatható itt is egy gyenge hőmérsékletcsökkenés a várostól távolodva (6. ábra).



5. ábra. Debrecentől keletre mélyített kutak kifolyó víz adataiból számolt hőmérséklet-mélység összefüggések a városközponttól mért távolság függvényében

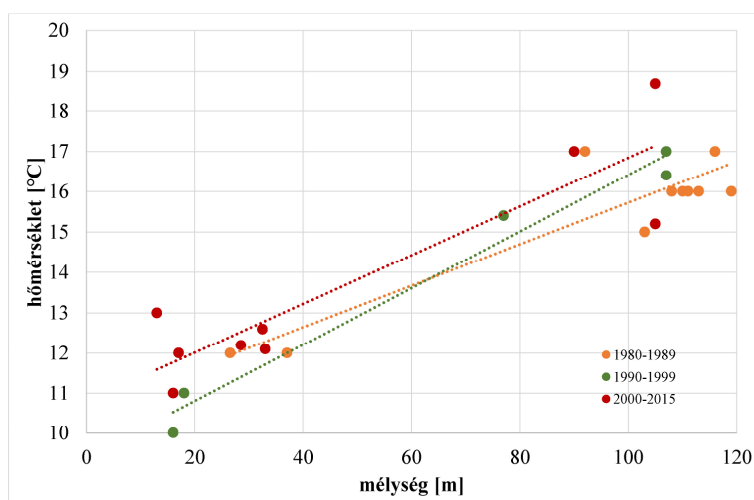


6. ábra. Debrecentől keletre mélyített kutak kifolyó víz hőmérsékletadatainak eltérése a területre meghatározott hőmérséklet-mélység függvényből kiszámolható értéktől

Hasonló vizsgálatokat végeztem a várostól délkeletre található kútsor adataiból. A kapott eredmények hasonló jellegűek, de még inkább bizonytalanok. A város nyugati szélén az adott típusba tartozó adatok kis száma miatt a vizsgálatot nem lehetett elvégezni.

3.3. A hőmérséklet-mélység összefüggések időbeli változása

Az összes vizsgált kúradatra elvégzett elemzés nem mutatta ki a hőmérséklet-mélység függvény szignifikáns időbeli változását. Ennek oka részben az, hogy a kutak elhelyezkedése és mélysége – a létesítés céljának megfelelően – változott: míg az 1960-1980 között létesített kutak nagy része az ivóvízellátás fejlesztése céljából készült, addig 1995 és 2005 között döntően figyelőkutak, 2005 után öntözőkutak kerültek az adatbázisba. Egyes területeken azonban kellően nagy a fúrások száma és kedvező az időbeli eloszlása ahhoz, hogy elvégezhető legyen a vizsgálat. Ezek közül a Debreceni I. számú vízmű környezetében készült adatsorok esetében kirajzolódik a mért hőmérsékletek növekedése az idő előrehaladtával, a növekedés kb. 1 °C (7. ábra). A hőterjedésre vonatkozó modellek (pl. [3]) alapján ez a növekedés a sekélyebb rétegekben erősebben jelentkezik, de az adatok mélységbeli eloszlásának adottságai miatt ez nem rajzolódik ki biztosan. A II. vízmű esetében azonban a melegedést nem lehetett kimutatni.



7. ábra. Debrecen I. vízmű környezetében mélyített kutak kifolyó víz hőmérsékletadatainak függése a mélységtől és a mérés időpontjától

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A feldolgozott adatok alapján a városi környezet felszín alatti hőmérsékleteloszlást módosító hatása Debrecen esetében a 20–200 m-es mélységtartományban is kimutatható: a városközpont felé közeledve a rurális térségekhez képest a hőmérsékletek a kisebb mélységben 1–2 °C-kal is nőnek, illetve egyes területeken az 1960-as évektől napjainkig hasonló mértékű hőmérsékletnövekedés fordult elő. Az adatsorokból meghatározott lokális és térségi geotermikus gradiensek 0,03–0,06 °C/m tartományba esnek, a termelési és talphőmérsékleti adatok hasznosíthatósága és eredményei egymástól eltérnek.

Az elérhető adatstruktúra azonban a részletesebb kiértékeléseket nem teszi lehetővé. Ehhez részletes vizsgálatsorozatot kell indítani, mely magába foglalja a termelés alatt nem álló kutak hőmérséklet-mélység profiljának részletes felvételét, a termelés alatt álló kutak állapotfelmérése során meghatározott talphőmérséklet és termelési termo görbék adatainak elemzését. Mivel a vízműves zóna vízszintjei a terepszint alatti 30 m körül vannak, így az ezekre telepített kutakból a kis mélységű zónákra vonatkozóan adatok nem nyerhetők. Ezért is fontosak a (monitoring) kútcsoportok, ahol a több kútra vonatkozó adatok egy függvénnyé egyesíthetők, mivel a kisebb mélységbe beszűrőzött kutak nyugalmi vízszintje akár 3-6 m-re is megközelíti a felszínt.

Ezekkel az eljárásokkal elérhető, hogy a mérések kellő sűrűséggel történjenek úgy, hogy közben a tulajdonosok érdekei sem sérülnek. Ezek mellett fokozott figyelmet kell fordítani az elkövetkezendőekben mélyítésre kerülő fúrások (kutak, hőszivattyús rendszerek hőszondái stb.) hőmérsékleti viszonyainak minél teljesebb körű megismerésére. Ezekkel egy nemzetközi szinten is kiemelkedő részletességű 3D hőmérsékletmodell építhető fel, mely a bevezetésben bemutatott energetikai, mérnökgeológiai célokra felhasználható.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PRENSKY, S:** *Temperature Measurements in Boreholes. An Overview of Engineering and Scientific Applications*, The Log Analyst, 1992, 33/3, p. 313-333.
- [2] **ZHU, K., BLUM, PH., FERGUSON, G., BALKE, K-D., BAYER, P.:** *The geothermal potential of urban heat islands*, Environmental Research Letter, 2010 5, 044002
- [3] **BANKS, D., GANDY, C. J., YOUNGER, P. L., WITHERS, J., UNDERWOOD, C.:** *Anthropogenic thermogeological 'anomaly' in Gateshead, Tyne and Wear, UK*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2009, 42, p. 307-312.
- [4] **FERGUSON, G., WOODBURY, A. D.:** *Urban heat island in the subsurface*, Geophysical Research Letters, 2007, 34, L23713
- [5] **MENBERG, K., BAYER, P., ZOSEDER, K., RUMOHR, S., BLUM, PH.:** *Subsurface urban heat islands in German cities*, Science of the Total Environment, 2012, 442, 123–133.
- [6] **SZEGEDI, S., TÓTH, T., LÁZÁR, I.:** *Role of urban morphology in development of the thermal excess in the city of Debrecen, Hungary*, Environmental Engineering and Management Journal, 2014, 13, 2805–2808.
- [7] **SZEGEDI, S., CSÁKBERÉNYI-NAGY, G., LÁZÁR, I., TÓTH, T.:** *Examinations on development of thermal excess in suburban areas of Debrecen, Hungary*, Air and Water Components of the Environment, Cluj-Napoca, Romania, 2014, p. 8.
- [8] **BUDAY, T.:** *A felső kéregbeli hőterjedés modellezése és alkalmazási lehetőségei Kelet-Magyarországon*, PhD doktori értekezés, Debreceni Egyetem, 2015, p. 130., Doktori témavezető: Dr. Kozák Miklós
- [9] **BUDAY, T., SZÚCS, P., KOZÁK, M., PÜSPÖKI, Z., MCINTOSH, R. W., BÓDI, E., BÁLINT, B., BULÁTKÓ, K.:** *Sustainability aspects of thermal water production in the region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary*, Environmental Earth Sciences, 2015, 74, p. 7511-7521.
- [10] **PÜSPÖKI, Z., DEMETER, G., TÓTH-MAKK, Á., KOZÁK, M., DÁVID, Á., VIRÁG, M., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KÓNYA, P., GYURICZA, GY., KISS, J., MCINTOSH, R.W., FORGÁCS, Z., BUDAY, T., KOVÁCS, Z., GOMBOS, T., KUMMER, I.:** *Tectonically controlled Quaternary intracontinental fluvial sequence development in the Nyírség–Pannonian Basin, Hungary*, Sedimentary Geology, 2013, 283, p. 34-56.
- [11] **MARTON, L., SZANYI, J.:** *Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata: 2. A rétegek között átszivárgás területi meghatározása*, Hidrológiai Közlöny, 1997., 77., p. 241-248.
- [12] <https://map.mfgi.hu/furas/>
- [13] **KOZOCSAY L. (szerk):** *Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere XXXVII. kötet*, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 2015, p. 50-52.
- [14] **KOZOCSAY L. (szerk):** *Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere XXXVIII. kötet*, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 2015, p. 34.

HALLÉPCSŐK MŰSZAKI ÉS ÖKOLÓGIAI ELEMZÉSE

TECHNICAL AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF FISHWAYS

CZÉDLI Herta¹, VARGA Zsolt²

¹főiskolai docens, herta.czedli@eng.unideb.hu

¹Építőmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

²adjunktus, vzs@eng.unideb.hu

²Építőmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: A folyókon a halak vándorlása felfelé és lefelé irányuló mozgásokból álló ciklusokat mutat. A halak táplálkozás és reprodukció miatt térnek át egyik területről a másikra. A halátjárók tervezése során a hidraulikus jellemzők mellett figyelembe kell venni a halfajok úszási teljesítményét és viselkedését is. Megállapítható, hogy a halátjárók/hallépcsők tervezésére vonatkozó biológiai és hidraulikai kritériumok változnak a halfajok típusától és a halak méretétől függően.

Kulcsszavak: halátjárók, szerkezet, tervezés, hidraulikai kritériumok, ökoszisztéma

Abstract: In rivers and streams fish migrations involve completing a cycle of upstream and downstream movements. Fish also move from one area to another to feed and to reproduce. In the design of a fishway, important factors to be considered include the hydraulic characteristics of the fishway type, the swimming performance and behaviour of the species of fish to be passed. Biological and hydraulic criteria for designing fishways vary with species and sizes of fish.

Keywords: fishway, construction, planning, hydraulic criteria, ecosystem

1. BEVEZETÉS

A civilizáció fejlődése a természetes ökológiai rendszerek átalakulását okozta a történelem során. Az egyre dinamikusabb technikai fejlődés következtében a környezetterhelés mértéke is folyamatosan növekszik. A vízfolyásokon létesült duzzasztóművek a halak élőhelyét jelentősen befolyásolják. Az áramlási viszonyok és vízmozgás sebességének megváltozása miatt eltérő ökológiai feltételek keletkeznek: az erőmű feletti szakaszon lassul a vízmozgás és hordaléklerakás jellemző, a duzzasztómű alatt viszont az alvíz sebessége jelentős mértékben növekszik. A vándorló halak szempontjából a gátak áthidalhatatlan fizikai akadályt képeznek. A különböző halátjárók és hallépcsők ezen akadályok kiküszöbölésére létesültek a nagyobb szintkülönbségek kiegyenlítése és a halak vándorlásának elősegítése érdekében.

2. HALLÉPCSŐK ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

A hallépcső egy olyan műtárgy, amely segíti az élőlényeknek a duzzasztási magasság leküzdését, ami akár több méteres is lehet. Bizonyos keresztezési műtárgyaknál, amelyek akadályozzák a halak vándorlását a vízfolyás mentén, olyan megoldásokat kell alkalmazni, melyek megfelelnek az egyes fajok élettéri elvárásainak. A hossz- és keresztirányú átjárhatóság biztosításának célja minden esetben a jó ökológiai potenciál megteremtése, a különböző típusú vízi életterek összekapcsolása és optimális kihasználásának biztosítása, továbbá az ivadékok mederbe történő visszajutási lehetőségeinek optimalizálása. További

célok között említhetjük a táplálékbázis optimális kihasználása érdekében történő vándorlás biztosítását, a telelőhelyek elérhetőségének megteremtését, a menekülési hely elérhetőségének biztosítását (pl. árvíz vagy havária szennyezés idején), az állománysűrűséget kiegyenlítő vándorlás biztosítását, visszatelepülést biztosító vándorlási lehetőség megteremtését árvízi lesodródás vagy halpusztulás után.

A műtárgyak átjárhatósága több módon megvalósítható: akadályok megszüntetésével, műtárgy átalakításával, hallépcsők építésével valamint a műtárgyak új üzemrendjének szervezésével. Vizsgálati eredmények igazolják, hogy azok a hallépcsők (kamrás rendszerek: halzsilipek, halliftek) amelyekkel a duzzasztóműveket általában ellátják, ritkán töltik be a szerepüket, mivel a halvándorlás hatékonysága nagyon alacsony. Sajnálatos eset, amikor a hallépcső teljesen átjárhatatlan: a felvíz szintje ritkán éri el a már túl magasan lévő halzsilip betorkollását, elzárva ezzel a vándorló halakat a folyó felső szakaszán lévő ívási helyektől.

2.1. Hallépcsőkkel szemben támasztott követelmények

Számos áramlástan és hidraulikai feltétel van, melyeknek meg kell felelnie a hallépcső kialakításának: a hallépcsőben lévő fenékküszöb szintkülönbsége ne haladja meg a 0,2 métert; medencék teljesítménysűrűsége ne haladja meg a 200 W/m^3 -t; vasbeton műtárgyak illetve a természet közeli megoldásoknak a medre úgy legyen kialakítva, hogy a gerinctelen állatfajok is igénybe tudják azt venni; a meder illetve medence fenéke terméskőből vagy homokos kavicsból legyen elkészítve; kis vízvesztéssel rendelkezzen; hallépcsőben a kialakuló örvénylések illetve a víz sebessége az átjárási területeken (búvó nyílásokon) ne haladja meg a halfauna és a gerinctelen élőlények által maximálisan elviselhető vízsebességet [1].

Az élőlények számára a hallépcső könnyű megtalálhatóságát biztosítani kell, így figyelembe kell venni a következő tényezőket: hallépcsőn áthaladó vízmennyiség nem lehet több mint a műtárgyon áthaladó; hallépcső kitorkolló részét az alvízen kell elhelyezni; a kitorkollás lassú, csendes vízmozgású térbe kerüljön; a hallépcső kialakítása során figyelni kell arra, hogy a halak a gyorsabb és oxigénben dúsabb közeg felé igyekezzenek; a legnagyobb igénybe vehető vízhozamot kell alkalmazni. Az üzemi és fenntartási költségek vonatkozásában minimumra kell törekedni, valamint különös figyelmet fordítani a műszaki állapot folyamatos ellenőrzésére és a működési hibák kiküszöbölésére [2].

3. MŰSZAKI ÉS ÖKOLÓGIAI ELEMZÉSHEZ SZÜKSÉGES MONITORING VIZSGÁLATOK HALLÉPCSŐKÖN

A hallépcsők ökológiai hatékonyságának vizsgálatához elengedhetetlen a rendszeres fizikai, kémiai, biológiai monitoring vizsgálatok elvégzése. A fizikai vizsgálatok során az értékelésnél figyelembe kell venni többek között: a hallépcső elrendezését, a tervezett és mért vízmélységet, vízhozamot, medencék közti szintkülönbségeket, szűkületekben mérhető vízsebességeket, a teljesítménysűrűséget és az aljzat állapotát. A csali víz helytelen bevezetése miatt bizonyos halcsoportok előfordulhat, hogy nem érzékelik megfelelően a hallépcsőt. Helyi átbukások kialakulhatnak helytelen medercsatlakoztatás vagy utófenék biztosításának hiányában. Az átmeneti szakaszokon a kialakuló nagy vízsebességek, erős turbulenciák nehezítik a halak átjutását. Nagyobb halak esetében az alulméretezett átjárók akadályt képeznek. A nem megfelelő uszadék eltávolítás, a kilépő oldal elfajulása komoly problémákat okoz a hallépcsők működtetésében, ezért ezekre kiemelt figyelmet kell fordítani [3].

A kémiai vizsgálatokkal kapcsolatban megállapítható, hogy a vizsgálatok köre kizárólag a halélettani szempontból elsődleges komponensekre terjed ki. Leggyakrabban oldott oxigén, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség - redox potenciál - ammónium NH_4^+ mérésére kerül sor. Itt fontos kiemelni, hogy ezek az adatok minden esetben csak tájékoztató jellegűek, pillanatnyi állapotot tükröznek. Átfogó kémiai elemzések csak hosszabb időintervallumra vonatkoztatott monitorin vizsgálatokkal érhetők el az egyes vízfolyásokon és az azokon létesült hallépcsőkön.

A biológiai vizsgálatok átfogó halfaunisztikai felméréseken alapulnak. A hallépcső aljzatáról vett üledékminták laboratóriumi elemzése a makrogerinctelen élőlények megtelepedésére vonatkozólag nyújt hasznos információkat [4]. Az üledéklakó állatok közül az árvaszúnyog lárvák indikátorszervezetek, a vízminőség változásokat kiválóan jelzik, ugyanakkor az üledékben raktározott nehézfém-szennyeződések tesztorganizmusai is [5]. A vízfolyásokon levonuló kisebb-nagyobb nehézfém-szennyezések hatásainak felmérésére a vízi élőlények kiválóan alkalmasak, hiszen az élőlények szervezetébe kerülő nehézfémek nem ürülnek ki onnan, akkumulálódnak. A vízfolyások nehézfém-szennyezettségének mértékét a vízi szervezetek monitorozása révén deríthetjük fel. Halszámlálási adatok révén lehet a hallépcsőn áthaladt halfajok számát és az átmenő egyedszámot megadni. Abban az esetben, ha nem minden halfaj veszi igénybe a hallépcsőt, a kialakuló áramlási viszonyok vizsgálata szükséges. A nem 100%-os átjárhatóság miatt bizonyos halak számára szűk, kevésbé átjárható a hallépcső (pl. szűk nyílás vagy kis vízmélység hatására). Az elhelyezett monitoring berendezések segítségével a hallépcsők hatékonyságának folyamatos ellenőrzésére nyílik lehetőség.

A hallépcsők, mint műtárgykomplexumok ökológiai folyosóként működve összeköttetést biztosítanak a felvíz és az alvíz között. A tájba illesztett, kedvező átjárási feltételekkel rendelkező hallépcsők a tájrehabilitációt szolgálják, egyesítve a korábban szétválasztott élettereket, biztosítva a vízfolyások kontinuitását és a vízi élővilág sokféleségének megőrzését, fenntartását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LARINIER, M.:** *Baffle fishways*. Bull. Fr. Peche Piscic, 2002. 364 suppl.: 83-101.
- [2] **TEPPEL, A., TYMIŃSKI, T.:** *Hydraulic research for successful fish migration improvement – "nature-like" fishways*, Civil and environmental engineering reports, 2013, No 10, pp. 125-137.
- [3] **ADAM B. ET AL.:** *Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle*. DWA, 2. Auflage, Hennel 2005.
- [4] **PANNONHALMI, M.:** *Tervezési alapelvek a halátjárók/hallépcsők vizsgálatához (monitoring)*. ÉDUVIZIG, Győr.
http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/0811_pannonhalmi_miklos.pdf
- [5] **NAGY, S.:** Hidroökológia. Debreceni Egyetem 2013., p. 65.

JELLEGGÖRBÉK ALKALMAZÁSA LASSAN ÉS GYORSAN UTÁNPÓTLÓDÓ KÉSZLETEK HATÁRAINAK MEGÁLLAPÍTÁSÁRA A BÜKK HEGYSÉGBEN

APPLICATION OF THE MASTER RECESSION CURVES TO THE DELIMITATION OF THE SLOW AND FAST RECHARGING WATER RESOURCES IN THE BÜKK-MOUNTAINS

¹DARABOS Enikő, ²TÓTH Márton, ³LÉNÁRT László

¹Egyetemi tanársegéd, hgde@uni-miskolc.hu

¹Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem

²Egyetemi tanársegéd, hgtm@uni-miskolc.hu

²Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem

³Ny. egyetemi docens, hgl@uni-miskolc.hu

³Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: Kutatásunk célja egy új karsztvízkészlet számítási módszer bemutatása mellett a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer adatai alapján a különböző mérőhelyekre előállított csökkenési görbék bemutatása és értékelése. Az eredmények segítségével megállapítottuk a gyorsan és lassan utánpótlódó készletek, valamint a hideg és meleg vizes rendszer technikai határát.

Kulcsszavak: Bükk hegység, Csökkenési görbék, utánpótlódó vízkészlet

Abstract: The aim of our research is to propose a new water resource calculation method, which does not require water budget calculations. In this method the applied parameters are water level measurement data from monitoring wells and caves, using the Bükk Karst Water Level Observing System, well register data and geological information from the Bükk area. Originally karst water resources were categorized as either static or dynamic, depending on the impact of precipitation on the supply. Recently the exploitable amount of karst water resources has become very important, due to the ecological point of view. This paper suggests practical definitions for water levels and water resources.

Keywords: Bükk Mountains, recession curves, recharging water resources

1. BEVEZETÉS

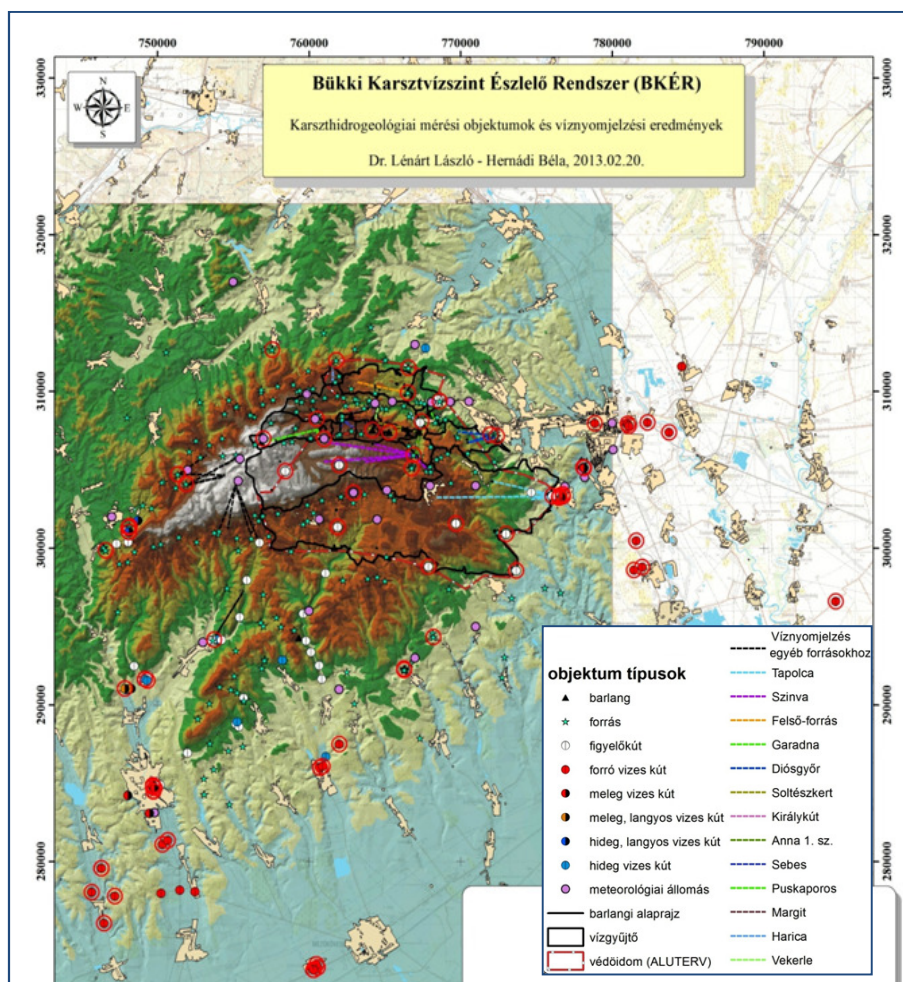
A karsztos vízbázisok áramlási sajátosságainak megértéséhez és modellezéséhez a hidraulikus jellemzők és a vízvezető rendszer felépítésének ismerete nélkülözhetetlen. A meghatározás során azonban jelentős mértékben megnehezíti a számításokat az alapvető folyamatok, mint például a beszivárgás, az áramlás vagy a megcsapolás kettőssége. [1,2,3,4,5,6].

A karszthidrogeológiában az áramlási tér jellemzésére használatos módszereket két nagy csoportba sorolhatjuk, az első a funkcionális megközelítés, amikor ismerjük a területre különböző módokon be- és kijutó víz mennyiségét, de nincs közvetlen információnk a kőzet hidrogeológiai jellemzőiről, az egész rendszer bizonyos paramétereit átlagértékekkel jellemezhetjük. A másik módszer csoport a funkcionális megközelítésű módszerek csoportja, mikor a hierarchikusan felépülő, egymásba illeszkedő egységek paramétereit részletesen ismerjük, és ezek segítségével modellezzük. [5]

A hagyományos karszthidrogeológiai módszerek közül, többek között a geológiai vizsgálatok, a hidraulikus tesztek, barlangi és nyomjelzéses vizsgálatok, az áramlási jellemzők

és a karsztrendszer geometriájának megismerésére irányulnak, ezek elvégzése azonban sokszor idő és költségigényes. A Bükk hegység területén azonban a 25 éve folyamatosan működő, gyakorlatilag a teljes bükki karsztot lefedő vízszintmonitoring rendszer lehetővé teszi a hosszú és különböző vízállási szituációkból származó kút és forrás hidrogramok elemzését, melyek által az áramlási teret jellemző térbeli és időbeli információkhoz juthatunk.

2. BÜKKIKARSZTVÍZSZINT ÉSZLELŐ RENDSZER



1. ábra. A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer keretein belül 1992 óta történik folyamatos vízszintmérés (helyenként kiegészítve hőmérséklet-, és vezetőképesség mérésekkel) termelő-, és megfigyelőkutakban, termelő-, és nem termelő forrásokban, barlangokban. A rendszer mennyiségi monitoringként funkcionál, ám az elmúlt években a jelentős méretű adatbázis helyenként kémiai mérési eredményekkel is bővült, ezáltal minőségi oldalról is támogatva a lehetséges vizsgálatokat.

Alapadatokként a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer (BKÉR) napi csapadék és vízszintadatait használtuk fel. Az alkalmazott meteorológiai adatok Jávorkútról származnak, mivel korábbi eredményeink szerint ez a mérőállomás csapadék mennyiség szempontjából a Bükk egészét jól reprezentálja. [7]

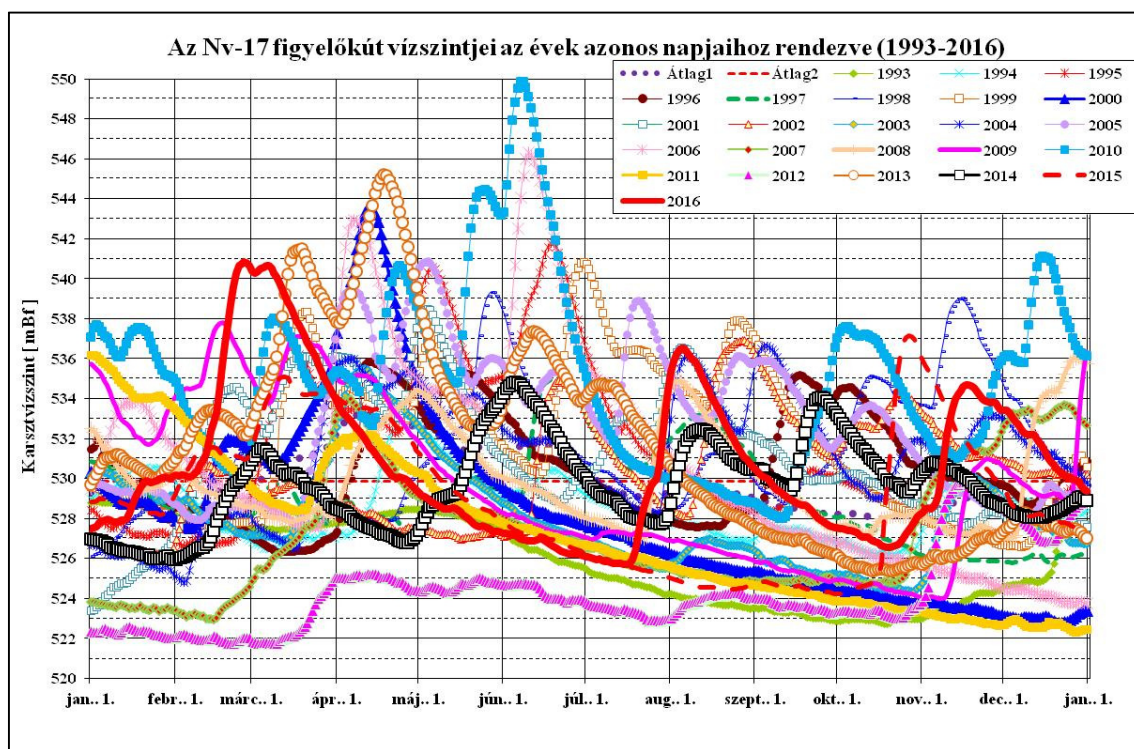
Az 1. ábrán látható a teljes monitoring rendszer kiterjedése, mérési pontjai.

A 2013 és 2015 között megvalósított KÚTFŐ projekt keretében az 1992 óta gyűjtött adatok egy adatbázisba kerültek beépítésre. [8]

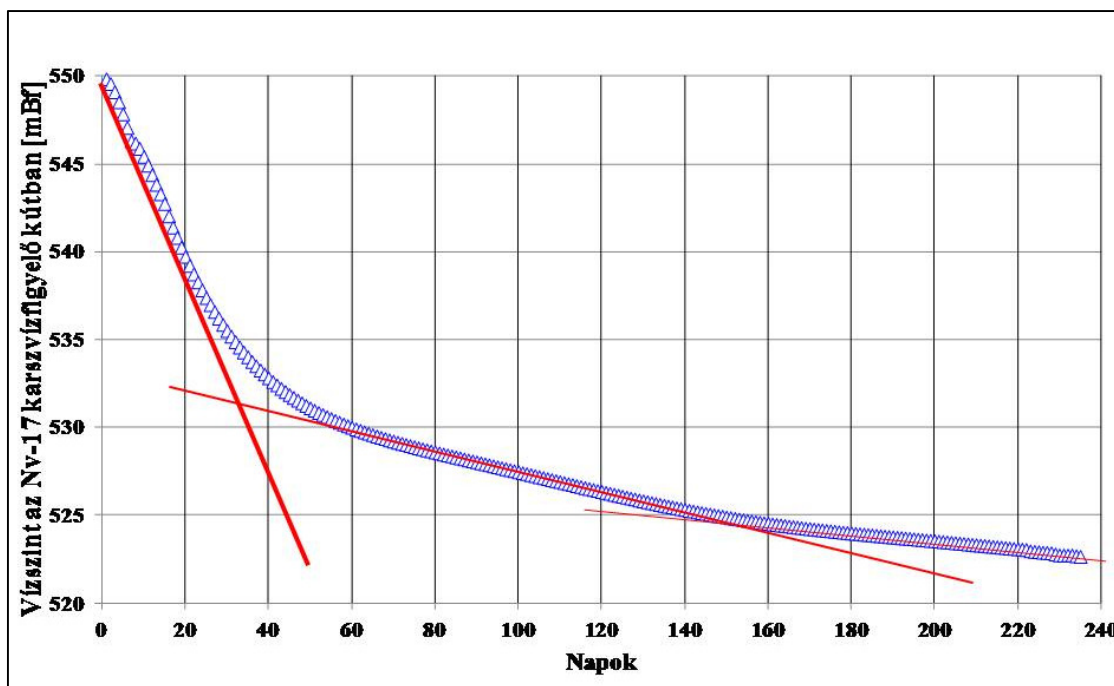
3. JELLEGÖRBÉK

A vizsgálatok kiinduló pontját a 2. ábra jelentette, melyen az Nv-17-mérőhelyen regisztrált napi vízszintek láthatóak 1993 és 2016 között. Ezen az ábrán a jelen dolgozat szempontjából releváns megállapítás, hogy az egyes években a vízszintek „zavartalan” csökkenéseinek meredeksége egymáshoz igen hasonló.

Az iménti megfigyelésből arra a következtetésre jutottunk, hogy adott mérőhelyre létezik egy csapadékmentes időszakban érvényes, jellemző csökkenési görbe. Ezután célként a kiválasztott mérőhelyekre e görbék meghatározását tűztük ki. A rendelkezésre álló adatokból kiragadtuk azokat a részeket, ahol a vízszint görbe zavartalanul csökkent (csapadékmentes időszakból származó csökkenés, minimum 5 nap), majd ezeket - vízszinteknek megfelelően - egymáshoz illesztettük. Így a csapadék hatásától csaknem teljesen mentes csökkenési görbéket kapunk eredményül, melyek átfogják az eddig mért maximumok és minimumok által meghatározott teljes vízszinttartományt. Példaként az Nv-17 tisztázott jelleggörbéje látható a 3. ábrán.



2. ábra. Az Nv-17 figyelőkút vízszintjei az év azonos napjaihoz rendezve (1993-2016)



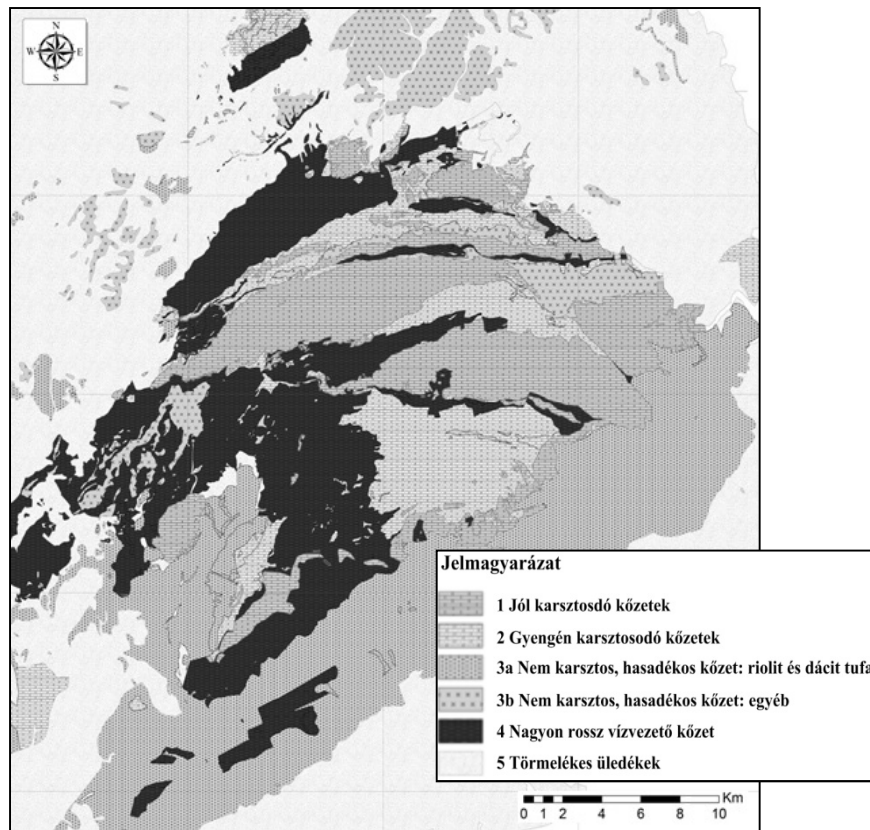
3. ábra. Az Nv-17 jelleggörbéje

4. VÍZKÉSZLET SZÁMÍTÁSI MÓDSZER

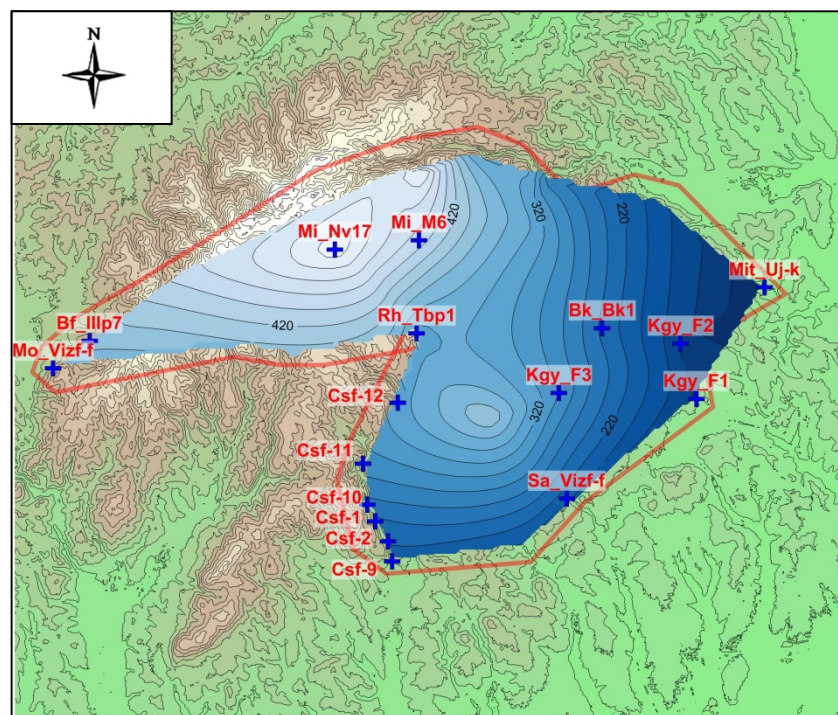
A számítási módszer alapját a földtani adatok feldolgozása jelentette. Karsztosodottság, ill. vízvezetőképesség szerint csoportokba soroltuk a földtani formációkat. Kezdetben a Sásdi László által szerkesztett térképet használtuk [9, 10], viszont annak kategóriái nem teljesen feleltek meg a céljainknak, ezért új kategóriákat hoztunk létre, melyek a 4. ábrán láthatóak. Ezután az alkalmazott hézagterfogatokat ezekre a kategóriákra fogjuk meghatározni.

A vízkészlet számítási módszer víztani alapját a BKÉR megfigyelőkútjaiban és barlangi mérőhelyeken regisztrált vízszintek, valamint a VIFIR forráskataszter bükki adatai jelentik. Korábbi vízdomborzat becslések és térképek születtek források és néhány megfigyelőkút adatai alapján. [11,12,13]. Ezek eredményeiből tudjuk, hogy a felszín alatti vízdomb legmagasabb pontja az Nv-17 megfigyelőkútban mért vízszint. Ez indokolta, hogy a forráskataszter adatai közül nem használtuk azokat, amelyek a Nv-17 szintje fölött helyezkedtek el, mivel úgy gondoljuk, hogy ezek csak lokális áramlási pályákon mozgó vizek, ill. időszakos források.

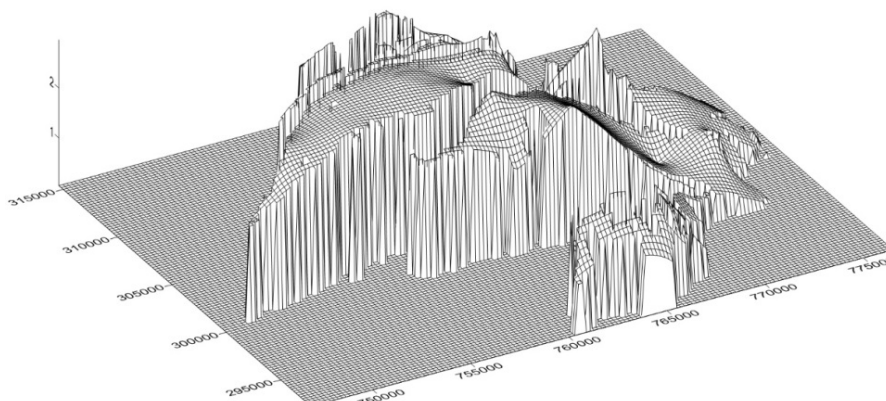
A mérési adatainkból, ill. a források fakadási szintjeiből Golden Software Surfer program segítségével előállítottuk a vízdomborzat felső burkoló felületét az Nv-17 maximális vízállása mellett. Ez az állapot látható az 5. ábrán, melyen a Bükk északnyugati részének egy darabját, valamint a délnyugati részét letakartuk. A délnyugati részen a nagyon rossz vízvezető kőzetek alatt nagy mélységben jelennek csak meg a jól, ill. közepesen karsztosodó kőzetek, így ezt a területet nem tudjuk bevonni a vízdomborzati térkép szerkesztésébe, viszont a termálkarszt rendszer szempontjából ez a terület nem elhanyagolható, a teljes áramlási rendszer részét képezi eltemetett karsztjaival. A 6. ábrán a jól karsztosodó kőzetkategóriába tartozó formációkban tárolt víztérfogat 3D-s megjelenítése látható.



4. ábra. A Bükk földtani formációira karstosodottság szerint felállított kategóriák, alaptérkép: [9]



5. ábra. A Bükk jellemző vízdomborzati térképe az Nv-17 mérőhely maximum vízszintje idején



6. ábra. A „Jól karsztosodott” kőzet kategórián belüli számított vízszint adatok

Ezt a vízdomborzat fájlt kell horizontálisan el metszenünk egy alsó határoló felülettel ahhoz, hogy a térfogatot meghatározhassuk. Ehhez a korábbiakban ismertetett jelleggörbéket használjuk.

A jelleggörbe elmélet egyik fontos megállapítása, hogy a görbék különböző meredekségű szakaszai különböző áramlási típusokkal hozhatók összefüggésbe. A görbék alsó, alaphozam csökkenéshez kapcsolt részét a mátrixban történő lassú áramlással hozhatjuk kapcsolatba. Vagyis megállapíthatjuk, hogy az adott kút környezetében ez a pont jelenti a jól karsztosodott zóna alsó határát. Ezek a határok az egyes kutak esetében az alábbiak szerint alakulnak (1. táblázat)

1. Táblázat A vizsgált kutak környezetében megállapítható jól karsztosodott zóna alsó határa

<i>Kút neve</i>	<i>A jól karsztosodott zóna alsó határa (m terepszinttől)</i>
<i>Nv-17</i>	<i>250</i>
<i>Rh-Tbp1</i>	<i>190</i>
<i>Kgy-F1</i>	<i>60</i>
<i>Kgy-F2</i>	<i>100</i>
<i>Kgy-F3</i>	<i>165</i>
<i>Sz-5</i>	<i>25</i>
<i>Mi-6</i>	<i>270</i>

Ezekre a pontokra illesztett felület képezi a határát a dinamikus gyorsan és lassan utánpótlódó vízkészleteknek. Ezen kívül még egy technikai határt kell kijelölni, amit a hegységben a legalacsonyabb forrás szintje képvisel 127 mBf (Miskolc-Tapolca). Ezt azzal indokoljuk, hogy amennyiben a vízszintek a hegységben ez alá a szint alá süllyednének, akkor a hegység hideg vizes rendszere tulajdonképpen nem működne tovább. Ez alapján ezt a szintet tekintjük a hideg vizes alsó és a termálkarsztos rendszer felső technikai határának.

Mindezek után következik a geológiai kategóriánként történő térfogat értékek számítása és porozitással történő korrigálása.

Az alkalmazott porozitás értékek megállapításakor irodalmi adatokat vettük [14, 15, 16, 17, 18], az ezek alapján meghatározott, ténylegesen alkalmazott értékeket a 2. táblázatban mutatjuk be.

2. Táblázat A kőzet kategóriák porozitás értékei

<i>Kőzet kategóriák</i>	<i>Porozitás mértéke (%)</i>
Jól karsztosodott	0,75
Gyengén karsztosodott	0,25
Rossz vízvezető kőzet	0,05
Nem karsztos, repedezett: dácit, riolit tufa	0,1
Nem karsztos, repedezett: egyéb	0,1

5. EREDMÉNYEK

A Golden Software Surfer v.10 programmal végzett térfogat számítás során nemcsak, a számunkra érdekes geometriai test térfogatát tudjuk meghatározni, hanem az ahhoz tartozó alapterületet is (3. táblázat). Ez esetünkben azért volt különösen praktikus, mivel így az egyes kőzet kategóriákhoz tartozó területi kiterjedést is meghatároztuk, amit össze tudunk vetni a korábbi számítások eredményével.

A korábbi vizsgálatokkal ellentétben az általunk kidolgozott vízkészlet számítási módszer a pillanatnyi térfogati víztartalmat határozza meg. Eddig ilyen típusú készlet számítási módszerről a Bükk esetében még nem hallottunk, melynek legfőképpen az az oka, hogy nagyon sok vízszint adattal kell rendelkezniünk ahhoz, hogy pontos vízdomborzatot készíthessünk. Ehhez pedig a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer adatbázisa szolgáltatott elegendő információt. A 3. táblázat azokat a térfogati értékeket tartalmazza, amit a vízdomborzat által meghatározott felső burkoló felület és a legalacsonyabb forrás szintje között határoztunk meg (a teljes gravitációsan rendelkezésre álló hidegvíz készlet).

3. Táblázat A számítási módszer által kapott területi és térfogati eredmények

<i>Kőzet kategóriák</i>	<i>Terület (millió [m²])</i>	<i>Kőzetben tárolt víz térfogat (millió [m³])</i>
Jól karsztosodott	107,1	270,6
Gyengén karsztosodott	62,3	93,2
Rossz vízvezető kőzet	20,1	5,4
Nem karsztos, repedezett: dácit, riolit tufa	1,9	1,1
Nem karsztos, repedezett: egyéb	11,7	4,7
Összesen	203,1	375

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság
Programjának támogatásával készült.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZÉKELY, F., SZŰCS, P., ZÁKÁNYI, B., CSERNY, T., FEJES, Z.:** Comparative analysis of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations. *Journal of Hydrology*, ELSEVIER, 520 (2015), January 2015, pp. 180-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.038>
- [2] **SZŰCS, P., MADARASZ, T.:** Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary. *Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management*. Editors: C.A. Brebbia and J.S. Antunes do Carmo WIT Press, 2006, pp. 177-184., ISBN: 1-84564-042-X.
- [3] **KIRÁLY, L., MOREL, G.:** Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simule par modeles mathematiques. 1976. *Bull. d'Hydrogéol. Neuchatel* 1, pp. 37-60.
- [4] **KIRÁLY, L.:** Karstification and groundwater flow. In: *Proceedings of the Conference on Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation*. Postojna Ljubljana, 2002. pp. 155-190.
- [5] **KOVÁCS, A.:** Geometry and Hydraulic Parameters of Karst Aquifers: A Hydrodynamic Modeling Approach. Doctoral Thesis, 2003. University of Neuchâtel, Switzerland, 131 p.
- [6] **WORTHINGTON, S.:** Diagnostic hydrogeologic characteristics of a karst aquifer (Kentucky, USA). *Hydrogeol. J.* 2009. 17 (7), pp. 1665-1678.
- [7] **DARABOS, E.:** Examining relationships is data recorded with the Bükk Karst Water Monitoring System, *Karst Development* 1. (2010)pp. 6-12.
- [8] **SZŰCS, P., FEJES, Z., ZÁKÁNYI, B., SZÉKELY, I., MADARÁSZ, T., KOLENCSEKNÉ TÓTH, A., GOMBKÖTŐ, I.:** Results of the WELLlaHEAD Project connected to water and mining. Geothermal potential of the Tokaj-Mountains. Pilot test of passive acid mine drainage water management. *FOG – Freiberg Online Geology*, ISSN 1434-7512, 2015, Volume 40, pp. 170-177.
- [9] **LESS, GY.:** In: PELIKÁN, P. 2005: A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet, 2005. Budapest
- [10] **LÉNÁRT, L., SZEGEDINÉ DARABOS, E.:** The hydrogeological relations of the thermal karst of Bükk mountains (Northern Hungary), *Proceedings of the 13th National Congress of Speleology, Speleodiversity*, 2012. pp. 209-214
- [11] **LÉNÁRT, L.:** A bükki karsztvízkutatás történeti áttekintése. A bükki karsztvízkutatás legújabb eredményei c. konferencia kiadvány, 2002. pp. 1-18
- [12] **LÉNÁRT, L., DARABOS, E.:** A bükki karsztvízkészletek meghatározási problémái, *Műszaki Tudomány Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban*, Műszaki füzetek, 2012. pp. 231-240
- [13] **SZILÁGYI, G., BÖCKER, T., SCHMIEDER, A.:** A Bükk-hegység regionális hidrodinamikai képe és karsztvízforgalma, *Hidrológiai Közöny*, 1980. 60. évf. 2. szám, pp. 49-96.
- [14] **BÖCKER, T., DÉNES, GY.:** A Szinva, Anna, Diósgyőri és Tapolcai forráscsoportok védőidoma, Miskolc város vízellátásába bekapcsolt karsztforrások védőidomának lehatárolása, Témaszám: III. 4. I. 8., VITUKI, Budapest, 1977. pp. 59-63.
- [15] **KOVÁCS, B.:** A tapolcai Termál-kút hidraulikai viszonyainak elemzése numerikus modellszámításokkal, A„tapolcai Termál-kút, hidrogeológiai szakvélemény” c. munka, 7. rész, Miskolci Egyetem, 2006. Miskolc, pp. 7-8.

- [16] **LÉNÁRT, L.:** Adatok a karsztos beszivárgás vizsgálatához a Létrási-Vizes-barlangban (Magyarország, Bükk hegység) végzett csepegésmérések alapján. Nemzetközi Karszthidrológiai Szimpózium. Budapest, 1978. MKBT-MFT-MMT kiadvány. pp.: 50-64.
- [17] **MEZŐ, GY. (BKMI):** Távlati vízbázisok biztonságba helyezésének programja, A bükki karszt-rendszer földtanivízföldtani és szimulációs modellje, kutatási jelentés, 1995. kézirat, pp. 1–32
- [18] **SZLABÓCZKY, P.:** Miskolc térsége karsztvíz készletének háttér hidrogeológiai vizsgálata a térségi vízműkapacitások növelése céljából, I. ütem, Mélyépítési tervező vállalat, Jelentés kézirat, 1988.

AZ ÁLLAM FELSŐOKTATÁSRA FORDÍTOTT KIADÁSAINAK, MINT BERUHÁZÁS MEGTÉRÜLÉSÉNEK A VIZSGÁLATA

EXAMINING THE STATE'S HIGHER EDUCATION EXPENDITURE AS A RETURN ON INVESTMENT

DEMETER Andrea

Hallgató, andiica7@gmail.com

Műszaki Menedzser és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar

Kivonat: Dolgozatomban arra keresem a választ, hogy hogyan alakult az állam felsőoktatásra fordított kiadásainak a mértéke, valamint arra, hogy a kiadásokkal szemben, milyen hozam párosult, azaz milyen mértékű az állam felsőoktatásra vonatkozó kiadásainak, mint beruházásnak a megtérülése mind az egyén, mind az állam számára.

Kulcsszavak: felsőoktatás, rövidített módszer, egyéni megtérülés, költségvetési megtérülés

Abstract: The change of public expenditure on tertiary education, relative benefits, and the private and public rates of returns to higher education are analyzed in this paper.

Keywords: Higher Education, shortened method, private returns, public returns

1. BEVEZETÉS

Dolgozatom fő területét a felsőoktatásban végzett pályakezdők munkaerő-piaci érvényesülésének a vizsgálata adja, melyben bemutatom és elemzem a frissen diplomázott hallgatók átlagkeresetét a különböző egyetemek és szakok viszonyításában.

A humántőke beruházás olyan beruházás, melynek során az egyén keresete és a gazdasági termelékenység egyaránt növekszik. A humán tőke elmélet megközelítése szerint az ember a tanulmányai során megszerzett tudást a munkájában kamatoztatni tudja, amely az egyén életpályája folyamán a munkabérében, fizetésében is megjelenik. A munkáltatók olyan munkavállalókat fognak keresni, akik jó képességgel rendelkeznek, magas a termelékenységük, nagy a teherbírásuk, ezért a különböző feladatok elvégzésével ki tudják szűrni azokat, akik nem érik el az elvárt teljesítményt és tudást az adott feladatokban [1].

Az oktatás, mint humántőke beruházás azt jelenti, hogy az oktatás befektetéseinek megtérülését ugyanúgy elemezzük, mint más fizikai tőke javakban történő beruházásokat. Az oktatás költség-haszon elemzés feltételezése, hogy a képzésre fordított költségek hozama mérhető, a megtérülés számítható mind az egyén, a társadalom és az állam szempontjából. Egyéni megtérülés esetén azt vizsgáljuk, hogy az egyén számára milyen mértékben nyereséges az oktatás, melyet sokszor az oktatás iránti igények változásának indoklásaként is alkalmaznak [2]. A társadalmi-, valamint az állami megtérülés esetén pedig azt vizsgáljuk, hogy a társadalom valamint az állam számára milyen mértékben nyereséges az oktatás, vagy mennyit is lenne érdemes költeni a különböző oktatási képzésekre [2]. Továbbá keresem a választ arra, hogy hogyan alakult az állam felsőoktatásra fordított kiadásainak mértéke, valamint arra, hogy a kiadásokkal szemben milyen hozam párosul, azaz milyen mértékű az állam felsőoktatásra vonatkozó kiadásainak, mint beruházásnak a megtérülése. A megtérülési vizsgálatok során a 2005-2014. év közötti időszakot vettem figyelembe.

2. A FELSOÓKTATÁS ÉS A KORMÁNY CÉLKITŰZÉSEI

Elsősorban a felsőfokú végzettséggel rendelkezők munkaerő-piaci érvényesülést, a felsőoktatás megterülését vizsgálom. Jelen fejezetben áttekintem az állam felsőoktatással kapcsolatos célkitűzéseit a jövőre vonatkozó törekvéseit. Továbbá ismertetem a felsőoktatás hallgatói létszámának az egyetemi és az alacsonyabb iskolai végzettséggel rendelkezők munkanélküliségi rátáinak, valamint a felsőfokú végzettséggel rendelkezők kereseteinek az alakulását.

Az oktatásnak, a felsőoktatásnak fontos szerepe van a társadalomban és egyben a gazdaság alakulásában. Minél többen tesznek szert felsőfokú képzettségre, annál nagyobb eséllyel helyezkedhetnek el majd a munkaerőpiacon, javítva ezzel egy ország értékteremtő képességét. A felsőoktatás iránti érdeklődés az elmúlt évekhez képest egyre magasabb.

A kormány „A fokozatváltás a felsőoktatásban” (2015) című kiadványának első olvasatában úgy nyilatkozik, hogy Magyarország az elmúlt 25 év folyamán visszafizette a sok évtizedes adósságát a társadalom felé [3]. Ismertetésük alapján bővül és alakul a felsőoktatás, azaz a közelmúltban kirekesztett csoportok is szert tehettek a kívánt végzettségre. Megalakul az egységes magyar felsőoktatás intézményrendszere és képzési szerkezete. Megjelenik a felsőoktatás minőségi felújításának a szándéka, ahol helyreáll az oktatás és a kutatás egysége. A kormány célként fogalmazta meg, hogy egy olyan rendszer valósuljon meg, amely az eredményes erőforrások felhasználása mellett egy sokkal jobb minőséget szolgáltat, ugyanakkor teljesítményelvű és a gazdasági szereplők igényeit is biztosítja [3].

A műszaki képzés átalakításánál a gyors technológiai fejlődésnek köszönhetően a rendelkezésükre álló ismeretek az évek során rohamosan fejlődtek és fejlődnek.

3. A FELSOÓKTATÁSBAN TANULÓK SZÁMÁNAK AZ ALAKULÁSA

A felsőoktatás nappali tagozatán tanulók száma 2000/2001 tanévtől 32,12%-kal növekedett a 2008/2009-es tanévig, majd ezt követően a vizsgált időszak végéig, azaz a 2014/2015-ös tanévig, 10,58%-kal csökkent [4]. A levelezős hallgatók száma viszont csak a 2004/2005-ös tanévig mutatott növekvő tendenciát. A 2005/2006-os évig mindkét képzésben tanuló hallgatók létszáma szinte egyenes arányban növekedett, majd a következő tanévtől szétvált. A hallgatók megközelítőleg kétszer nagyobb létszámban tanultak nappali képzéseken a 2009/2010 tanévtől, mint a levelezős képzéseken, mely a 2014/2015 tanév folyamán is megmarad, pontosabban a nappali tagozatos hallgatók száma 143,3%-kal haladta meg a levelezős képzésben tanulók számát [4].

Az alapszakos és osztatlan mesterképzések esetén a gazdálkodási és menedzsment, a gépészmérnöki és a jogász szak a legvonzóbb. A jelentkezők 8,73%-a jelentkezett első helyen a gazdálkodási és menedzsment szakra, míg a legkevesebb jelentkezést vonzó képzésre 4,54%-an jelentkeztek.

4. A FELSOFOKÚ VEGZETTSÉGGEL RENDELKEZŐK MUNKANÉLKÜLIVÉ VÁLÁSI LEHETŐSÉGEINEK AZ ELEMZÉSE

A felsőfokú végzettséggel rendelkezők munkaerő-piaci érvényesülését részben elemezhetjük a munkanélkülivé válásuk valószínűségével, amely a felsőoktatás megtérülésének is jelentős befolyásoló tényezője. A friss diplomások munkanélkülivé válásának egyik lehetséges oka, hogy a munkaerő-piacon a betöltendő állások száma kevesebb, mint a felsőoktatásról, egyetemekről kikerülő hallgatók száma. Azaz sokkal több friss diplomával rendelkező egyén lesz a munkaerő-piacon, mint amennyi a végzettségüknek

megfelelő álláslehetőség van.

Az 1. táblázatban megfigyelhetjük, hogy a felsőfokú végzettséggel rendelkezők körében alacsonyabb a munkanélkülivé válás valószínűsége. Tekintettel arra, hogy az egyetemi végzettséggel rendelkezőkre vonatkozó munkanélküliségi ráták értékei 2,72 és 9,21 közötti százalékponttal maradtak el a középiskolai érettségivel rendelkezőkhöz viszonyítva. Míg a főiskolai végzettséggel rendelkezőknél az eltérés 2,52 és 7,39 százalékpont között alakultak 1998 és 2014 között. Még nagyobb különbség figyelhető meg az általános iskolai végzettséggel rendelkezőkhöz viszonyítva. A felsőfokú végzettség véd a munkaerő-piacon, azaz segíti a munkaerő-piaci érvényesülést, tekintettel arra, hogy a munkanélküliségi ráták a magasabb iskolai végzettség felé haladva jelentősen csökkenek.

1. Táblázat A munkanélküliségi ráták értékeinek eltérése a különböző végzettségek közti viszonylatban (százalékpont)

Időszak	Egyetem - Gimnázium	Egyetem - Szakközépiskola	Főiskola - Gimnázium	Főiskola - Szakiskola
1998	-5,26	-7,15	-4,51	-6,40
1999	-5,21	-7,03	-4,66	-6,48
2000	-4,53	-6,37	-3,96	-5,80
2001	-3,43	-5,44	-2,65	-4,66
2002	-2,72	-4,47	-2,52	-4,27
2003	-3,64	-5,63	-2,68	-4,66
2004	-4,18	-5,07	-3,35	-4,25
2005	-4,84	-5,85	-4,07	-5,08
2006	-4,93	-6,11	-3,78	-4,96
2007	-4,06	-5,76	-2,69	-4,39
2008	-5,54	-6,45	-4,05	-4,96
2009	-6,14	-8,76	-3,94	-6,57
2010	-6,44	-8,64	-4,91	-7,12
2011	-7,28	-9,21	-5,46	-7,39
2012	-8,02	-8,62	-6,61	-7,21
2013	-7,37	-8,56	-5,63	-6,82
2014	-5,54	-5,94	-4,15	-4,55

5. A FELSOÓKTATÁS, MINT A HUMÁNTŐKE-BERUHÁZÁS MEGTÉRÜLÉSI VIZSGÁLATA

5.1. A rövidített módszer – módszertani áttekintés

A költség-haszon elemzés leggyakrabban használt módszere a belső megtérülési ráta vizsgálata. Ahol a diszkontráta az a belső megtérülési ráta, mely egyenlővé teszi a költség és hozam áramlását. Három módszerrel lehet kiszámolni a megtérülési rátát, dolgozatomban a rövidített módszert alkalmaztam.

Rövidített módszer alatt azt értjük, hogy egy közelítő becsléseket fogunk végezni, ahol a különböző képzettséggel rendelkezők átlag keresetét fogjuk alkalmazni.

Az egyéni megtérülés (r_p) kiszámításának képlete:

$$r_p = \frac{(1-U_e) \cdot W_e - (1-U_g) \cdot W_g}{t \cdot (C_e + (1-U_g) \cdot W_g)}, \quad (1)$$

ahol U_e - az egyetemi végzettséggel rendelkezők munkanélküliség rátáját; U_g - a gimnáziumi érettségivel rendelkezők munkanélküliségi rátát; W_e - az egyetemi végzettek átlag keresetét; W_g - a gimnáziumi végzettek keresetét; t - a képzés időtartamát; C_e - az oktatás közvetlen költségét jelöli, az egyéni megtérülés esetében.

A költségvetési megtérülés (r_f) következő egyenlettel közelíthető:

$$r_f = \frac{(1-U_e) \cdot T_e - (1-U_g) \cdot T_g}{t \cdot (C_j + (1-U_g) \cdot T_g)}, \quad (2)$$

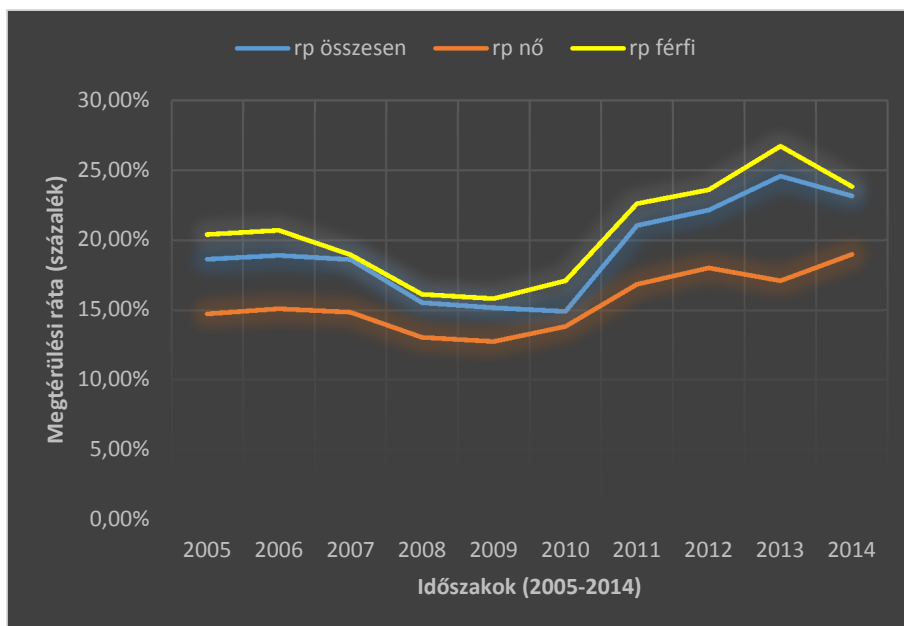
ahol U_e - az egyetemi munkanélküliség rátáját; T_e - az egyetemi végzettek keresetét terhelő adók nagyságát; U_g - a gimnáziumi munkanélküliség rátáját; T_g - a gimnáziumot végzettek keresetét terhelő adók nagyságát; C_j - az állami közvetlen költséget és; t - az oktatás időtartamát jelöli.

Az OECD minden évben kiadja az „Education at a Glance” című kiadványt, melyben leírja többek között az elmaradt és közvetlen költségeknek a változását az OECD országainak a viszonylatában. Az OECD említett kiadványában közölt adatok segítségével kiszámoltam az egyéni közvetett és közvetlen költségek arányát Magyarországra nézve egészen a 2005 és 2014 közötti évekre, és a számított arány segítségével, valamint a középiskolai végzettek átlagkeresetének, mint közvetett költség felhasználásával közelítettem az egyéni közvetlen költségeket.

Azonban az említett arányok, azaz a közvetlen költségek nem álltak rendelkezésemre a 2011. évre és az azt követő évekre, ezért a 2005-2014-ig meglévő adatokból számított átlagos értéket vettem figyelembe.

5.2. Az egyetemi végzettséggel rendelkezők egyéni és költségvetési megtérülési rátáinak az alakulása nemenként és együttesen

A felsőoktatás nemzetgazdaság egészére számolt egyéni megtérülés 2005-ben 18,66 % volt, amely a rákövetkező évben növekedett. Majd a 2006. évtől a megtérülés egészen a 2010. évig fokozatosan csökkent a 14,9%-os értékre. A 2011. évben viszont a személyi jövedelemadó rendszerben az egykulcsos adó bevezetésének köszönhetően 6,12 százalékpontos emelkedést tapasztalhattunk az egyéni megtérülés értékeiben, amely a 2014-es évig évente néhány százalékponttal növekedett 1. ábra). Nemzetközi viszonylatban a Magyarországra számolt felsőoktatás egyéni megtérülési rátái relatíve magasnak mondhatóak, az OECD országokra vonatkozó legújabb (a 2010. évre vonatkozó) adatok alapján mindössze 5 ország esetében haladta meg az egyéni megtérülés a 20%-ot [6].



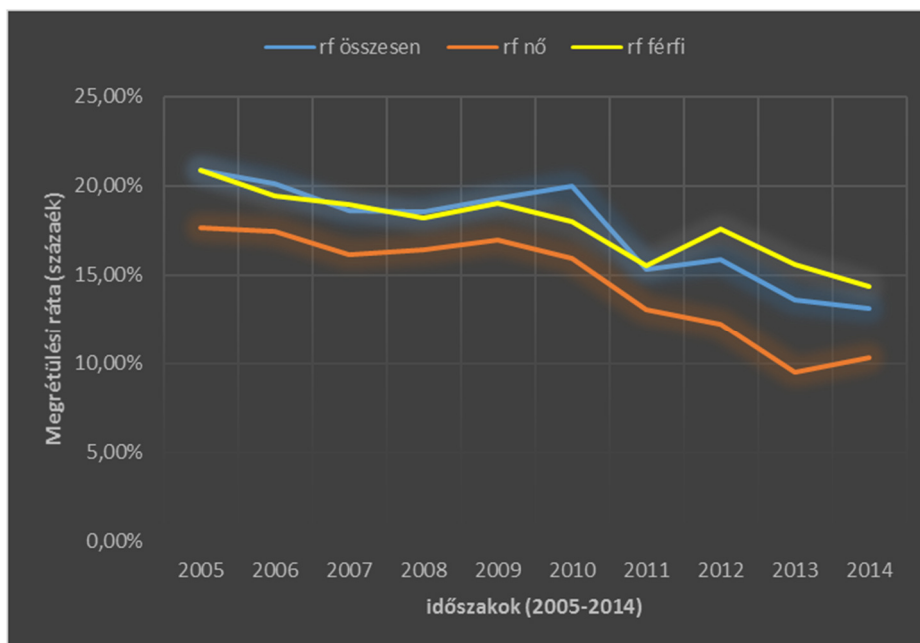
1.ábra Egyéni megtérülés alakulása együtt és nemenkénti bontásban (2005-2014)

Forrás: Saját számítás, 2015

Az egyéni megtérülés értékei a nők esetében is hasonlóan alakult. 2006-ban emelkedett a megtérülés mértéke a 2005. évhez képest, viszont 2010. évig, évente 1 százalékpontos csökkenést mutatott. A következő években, azaz 2011-ben és 2012-ben a felsőoktatás egyéni megtérülési ráta nőkre vonatkozó értékei emelkedtek. 2013-ban viszont ismét egy kisebb visszaesés következett, amit a következő évben egy majdnem 2 százalékpontos növekedés követett.

A férfiak esetében, a nőkhez hasonlóan a vizsgált időszak első két évében növekedés látható, melyet 2010. évig fokozatos csökkenés követett. Itt az előzőekhez képest a 2010-es évtől tapasztalható a növekedés egészen 2014. évig, amit 2014. évben visszaesés követett. A számításokból arra lehet következtetni, hogy a férfiak egyéni megtérülése magasabb volt a nőkre vonatkozó megtérülés értékeinél a vizsgált időszak valamennyi évében. Következésképpen a férfiak felsőoktatásból származó hozama magasabb a nőkhez viszonyítva, amely egyértelműen a középiskolai végzettséggel rendelkezőkhöz viszonyított magasabb kereseti előnyben rejlik. Ugyanakkor a nők és a férfiak esetében néhány évre megfigyelhető alacsonyabb megtérülési értékek oka részben a 2008-as pénzügyi válság idején mérséklődött kereseti hozam, hiszen az egyetemi végzettség keresete a gimnáziumi érettségivel rendelkezők keresetének a százalékában kifejezve a férfiak esetében 7,3 százalékponttal csökkent 2007-ről 2008-ra, míg a csökkenés mértéke 2009-re 4 százalékpontot ért el hasonlóan 2007-hez viszonyítva.

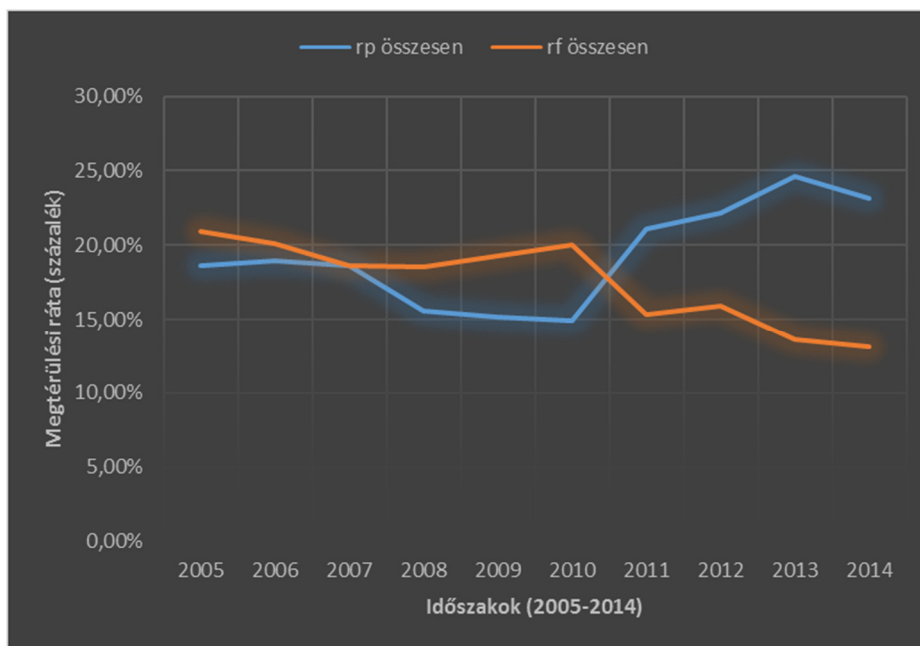
A fiskális megtérülés eredményei eltérő képet mutatnak, tekintettel arra, hogy a 2005. évtől 20,89%-ról egészen 2009. évig fokozatos csökkenés látható, majd az egy évre jellemző (azaz a 2010. évben bekövetkező) átmeneti emelkedést követően a 2011. évtől ismét fokozatosan csökkent a felsőoktatás állami megtérülése (2. ábra). A felsőoktatás állami megtérülése 7,76 százalékponttal csökkent a vizsgált időszak alatt, azaz 2005 és 2014 között (2. ábra). A költségvetési megtérülési értékek alakulásában is felismerhető a munkából származó kereseteket terhelő adórendszerben bekövetkezett változás hatása, nevezetesen, hogy a progresszív adórendszert felváltotta az egykulcsos adórendszer.



2. ábra Költségvetési megtérülés nőkre, férfiakra bontva és a nemzetgazdaság egészére (2005-2014)
Forrás: Saját számítás, 2015

Nők esetén a költségvetési megtérülés a 2005. évre vonatkozó 17,66%-ról 2007-re 1,49 százalékponttal csökkent. Majd a következő 2 évre vonatkozó növekedést követően (a 2014. év kivételével) évről évre csökkent a költségvetés megtérülése, amely a vizsgált időszak egészére 7,4 százalékpontos csökkenést jelentett (2. ábra). A nők költségvetési megtérülése évektől függően 2-6 százalékpont közötti értékkel maradt el a férfiakra vonatkozó megtérülési értékektől.

A költségvetés férfiakra vonatkozó megtérülése az első 4 év folyamán fokozatosan csökkent a 2005. évtől kezdődően (2. ábra). A felsőoktatás állami hozama 2005 és 2014 között összesen 6,5 százalékponttal csökkent. A vizsgált időszakban bekövetkezett csökkenés nem fokozatosan ment végbe, tekintettel arra, hogy néhány évre ugyan mérsékelt, de átmeneti emelkedés volt tapasztalható. A fiskális megtérülés esetén a férfiaknál 2013. évben volt egy magasabb növekedés az előző évhez képest, melyet aztán ismét csökkenés követett, ami részben abból következik, hogy 2013. évben a gimnáziumot végzettek esetén magasabb volt a munkanélküliségi ráta aránya, azaz a felsőfokú végzettek kereseti hozama a munkanélkülivé válás valószínűségével súlyozva emelkedett az előző évhez képest.



3. ábra Egyéni megtérülés és a költségvetési megtérülés alakulása összesen (2005-2014)
Forrás: Saját számítás, 2015

Az egyéni közvetlen megtérülés és költségvetési megtérülés együttes ábrázolásából az látható, hogy a 2007. évben 18,6 százalékpont volt az egyéni megtérülés is, illetve a költségvetési megtérülés is. Vagyis ugyanakkora volt az egyéni megtérülési ráta, mint a költségvetési megtérülés. 2010. évig a fiskális megtérülés jóval magasabb volt az egyéni megtérülésnél, 5,04 százalékpont volt a különbség. Mindez azt jelenti, hogy az állam számára jövedelmezőbb volt a felsőoktatás, mint beruházás az egyénhez képest. Majd, a 2010. év után megfordult az egyéni megtérülések és a fiskális megtérülések aránya. Az egyéni megtérülés 2013. évig fokozatosan emelkedett, míg a költségvetési megtérülés 2011. évig csökkent, majd mérsékelten emelkedett és 2014. évig folyamatosan csökkent. A fiskális megtérülést meghaladó egyéni megtérülések oka részben a 2011. évet követően a személyi jövedelemadó rendszerben bekövetkezett változásnak tulajdonítható. Ugyanakkor tekintettel arra, hogy a felsőfokú végzettséggel rendelkezők kereseti előnye nem csökkent. Megállapítható, hogy a felsőfokú végzettség jelentős hozammal párosul az alacsonyabb iskolai végzettséggel rendelkezőkhöz képest.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Világszerte nagyon sok számítást végeznek a megtérülések vizsgálatával kapcsolatban. A tapasztalat azt mutatja, hogy az egyéni megtérülés magasabb a fiskális megtérüléssel szemben. Számításaimban azonban az látszik, hogy Magyarország viszonylatában ez másképp alakult. A 2007-es évtől a fiskális megtérülés volt a nagyobb, ami azt jelenti, hogy az állam számára jövedelmezőbb volt a felsőoktatás, mint beruházás. Majd ez a 2010-es évtől megváltozott, az egyéni megtérülés jóval magasabb volt a fiskális megtérülésnél. Nemzetközi viszonylatban Magyarország megtérülési rátái relatíve magasak voltak. Hiszen az OECD 34 országa közül mindössze 5 ország esetében – köztük Magyarország – haladta meg a 20%-ot az egyéni megtérülés. Számításaimból arra lehet következtetni, hogy napjainkban a felsőoktatás, mint beruházás jövedelmezőbb az egyén számára az államhoz képest.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **POLÓNYI, I.**, *Oktatás, oktatáspolitikai, oktatásgazdaság*, Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt., Budapest, 2008., ISBN 978-963-19-6512-4
- [2] **VARGA, J.**, *Oktatás-gazdaságtan, Közgazdasági Szemle Alapítvány*, Budapest, 1998., ISBN 963049792
- [3] **EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA** (2015), *Fokozatváltás a felsőoktatásban*,
<http://www.kormany.hu/download/d/90/30000/fels%C5%91oktat%C3%A1si%20koncepti%C3%B3.pdf> (Letöltés ideje: 2015. október 10. 12:28)
- [4] **KSH** (2015), http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zoi007a.html (Letöltés ideje: 2015. 10. 15. 17:38)
- [5] **EDULINE**, *Ezért érdemes mesterszakra menni: itt van, mennyit keresnek a friss diplomások*,
http://eduline.hu/felsooktatas/2015/5/27/friss_diplomas_fizetes_2015_alap_es_mesters_58X5CO (Letöltés ideje: 2015. október 24. 01.25)
- [6] **OECD** (2014), *Education at a Glance 2014: OECD Indicators*, OECD Publishing.
<http://dx.doi.org/10.1787/eag-2014-en> (Letöltés ideje: 2015. 10. 03. 18)

A GYÁRTÁSI ORIENTÁCIÓ HATÁSA AZ ANYAG HÚZÁSSAL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁRA ADDITÍV GYÁRTÁSSAL KÉSZÍTETT ALKATRÉSZEK ESETÉN

EFFECT OF ORIENTATION IN PRODUCTION TO RESISTANCE AGAINST TENSION OF MATERIAL IN CASE OF PARTS MADE BY ADDITIVE MANUFACTURING

DEZSŐ Gergely¹, SZIGETI Ferenc², KÓSA Péter³

főiskolai tanár^{1,2}, tanszéki mérnök³

Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet,
Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszék^{1,2,3}

dezso.gergely@nye.hu¹,

szigeti.ferenc@nye.hu²,

kosa.peter@nye.hu³

Kivonat: Az additív gyártással készített anyagok mechanikai tulajdonságainak irányfüggése elsősorban arra vezethető vissza, hogy a gyártási technológia kitiűntet egy vagy több térbeli irányt. A különböző technológiák eltérnek egymástól abban, hogy ez milyen mértékben érvényesül. PolyJet technológiával készített szabványos szakító próbatestek szakítóvizsgálatát végeztük el. A próbatestek a Nyíregyházi Egyetem Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszékének Additív Gyártás Laboratóriumában készültek. Az elszakított próbatestek tönkremeneteli helyein elektronmikroszkóp segítségével megvizsgáltuk az anyag mikroszerkezetét. Kimutattuk, hogy a különböző gyártási orientációval készített próbatestek szakítószilárdsága különböző. Kimutattuk, hogy a mikroszerkezetben is van különbség, ami kapcsolatba hozható az anyagjellemzőkkel, így a szakítószilárdsággal is. A szakítóvizsgálatokat a tanszék akkreditált Anyagvizsgáló Laboratóriumában, az elektronmikroszkópos vizsgálatokat tanszékiünk elektronmikroszkóp laboratóriumában végeztük el. Összességében megállapítható, hogy az additív gyártási technológiák elterjedésével egyre nagyobb lehetőség nyílik irányfüggő anyagi tulajdonságokkal rendelkező alkatrészek gyártására, ugyanakkor a kimutatott jelenség a tervező munka átgondolására is felhívja a figyelmet egyes területeken.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, additív gyártás, szakítószilárdság, anizotrópia

Abstract: Anisotropy of materials built up by additive manufacturing originates in that certain production technologies distinguish one or more direction in space. Technologies differ from each other in how much this phenomenon prevails. We performed tensile test on test specimen fabricated by PolyJet technology. test specimens were made in Additive Manufacturing Laboratory at University of Nyíregyháza, Department of Physics and Production technology. Microstructure of damaged surface of the specimen were studied by electron microscope. It was pointed out that tensile strength of specimen fabricated in different orientation is variant. It was demonstrated that there are differences also in microstructure, which is in comprehension with mechanical features of the material like tensile strength. Tensile tests were performed in accredited Material Test laboratory, and microstructure studies were carried out in electron microscope laboratory at our Department. It can be stated that additive manufacturing technologies spreading worldwide opens the door to produce parts with direction dependent properties, and the phenomenon pointed out draws the attention to reconsider design principles at certain fields of engineering.

Keywords: 3D printing, additive manufacturing, tensile strength, anisotropy

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártás (amit sokszor 3D nyomtatásnak is neveznek) intenzíven fejlődő és az alkalmazások területén is gyorsan terjedő technológiák széles családjait jelenti. A technológiák nem csak gépalkatrészek készítésére alkalmasak, hanem orvosi implantátumok, szövetek előállítására, élelmiszerek vagy akár épületek gyártására is. A felhasználható

anyagok skálája széles: fémek, műanyagok, kerámiák, üveg, gipsz, élő sejtek vagy élelmiszer porok mind feldolgozhatók az additív gyártási technológiák valamely típusával [1,4,5].

Bár a műszaki megoldások nagy változatosságot mutatnak, mégis van néhány közös elvi vonása az additív technológiáknak, ami indokolja azt, hogy egy csoportba soroljuk azokat. Ez a közös vonás a rétegről rétegre gyártás közvetlenül a CAD modellből egy, a gyártandó test alakja szempontjából univerzális berendezésen. Az additív gyártás és a CAD modellezés szoros kapcsolata új lehetőséget nyitott meg a termékfejlesztésben és a mérnöki gondolkodásban is.

Az additív gyártási technológiák egy csoportjára jellemző, hogy a gyártási technológia egy vagy több térbeli irány is kitüntet. Emiatt az elkészített testek anyagának mikroszerkezete és tulajdonságai is irányfüggők lehetnek, és általában azok is. Az anizotrópiára az ilyen alkatrészek tervezése és gyártása során különös tekintettel kell lenni, mert ennek figyelmen kívül hagyása váratlan meghibásodásokat okozhat. Azonban ez a jelenség nem szükségképpen káros. Elképzelhető olyan termék, amelynek gyártásakor tervszerűen és tudatosan irányfüggő tulajdonságokat kell kialakítani. Kijelenthető, hogy akár zavaró körülményként van jelen, akár tudatosan tervezett tulajdonság, az additív gyártással készített alkatrészek esetén az anyagjellemzők anizotrópiáját a mérnöknek ismerni kell.

Ez a terület azonban még számos felfedeznivalót tartogat a kutatók számára.

Egy olyan technológiát tanulmányoztunk, amelyben erősen jelen van az irányfüggőség. Az általunk bemutatott eredmények más additív technológiával gyártott termékek esetén is tájékoztató jellegűek lehetnek.

2. ANYAGOK, MÓDSZEREK

A próbatesteket az MSZ EN ISO 6892-1:2016 szabványnak megfelelően gyártottuk OBJET Eden 350V additív gyártó berendezéssel. Ehhez a próbatest CAD modelljét kellett elkészíteni, ami alapján az additív gyártó berendezés elkészítette azokat.

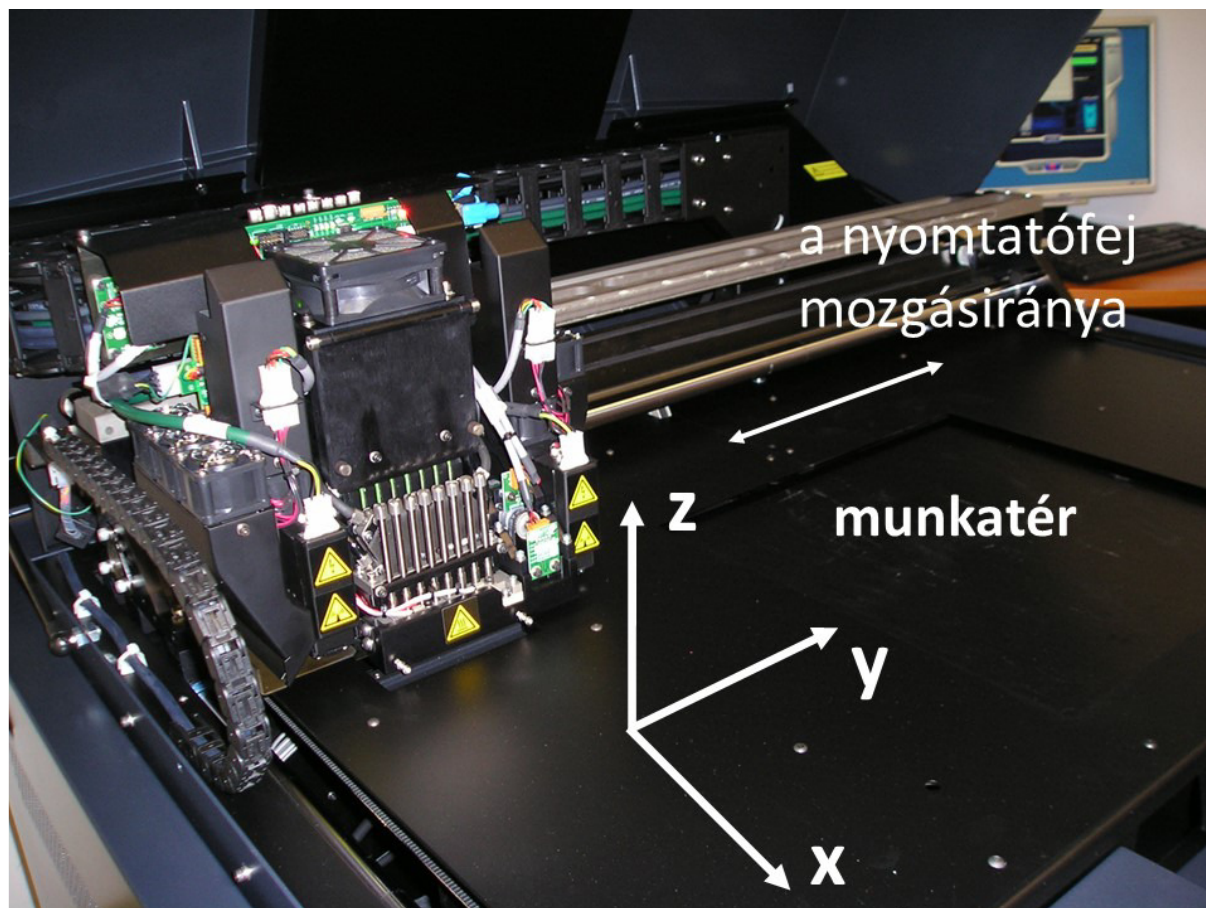
Az OBJET Eden 350V berendezés PolyJet technológiával készít modelleket. Ez egy rétegről rétegre történő gyártási eljárás. Minden egyes réteg előre definiált vastagságú, ennek értéke kétféle lehet: 16 mikrométer és 30 mikrométer. A vékonyabb rétegek használatával pontosabb modell készíthető, de több idő szükséges ehhez. Vizsgálataink során mindkét rétegvastagsággal elkészítettük a próbatesteket, tehát a 2. ábrán látható készlet két példányban készült, eltérő rétegvastagsággal. A modell felépítése során az anyagot a nyomtató egység juttatja a munkatérbe 8 darab fejen keresztül, melyek mindegyike 96 db 5 mikrométer átmérőjű nyílással rendelkezik. A fej az 1. ábra szerinti x irányban alternáló mozgást végez. A rétegek kialakítását követően egy, a fejben található henger simítja a modell felületét, a simítás iránya azonos a nyomtató egység mozgásának irányával. A nyomtatás során a munkatér alsó felülete végzi a függőleges irányú mozgást úgy, hogy minden réteg után 16 vagy 30 mikrométerrel lejjebb ereszkedik, a nyomtató egység magassága állandó.

Az OBJET Eden 350V berendezés fotopolimer műgyantából építi fel a modellt. A műgyanta folyékony halmazállapotban jut a munkatérbe. A nyomtató egység két oldalán két erős ultraibolya fényt adó lámpa helyezkedik el, melyek fényének hatására a műgyanta polimerizálódik, ennek eredményeképpen megkeményedik.

A technológia fentebb ismertetett vázlatából is kiviláglik, hogy két különleges térbeli irány is megkülönböztethető a PolyJet eljárásban. A nyomtatófej és a simító henger mozgásirányában (y irány) kismértékű nyújtás várható, ami már önmagában is megalapozza azt, hogy az anyagi jellemzők irányfüggők legyenek. Ezzel együtt a simítás folyamata x irányban kismértékű kinyomódást, z irányban lefelé pedig tömörödést, lapulást eredményez. Ezek e

jelenségek a jelen cikkben tárgyalt anyagjellemzőkön túl a méretpontosságot és a felületi érdességet is irányfüggővé teszik, melyeket korábbi munkánkban vizsgáltunk [2,3].

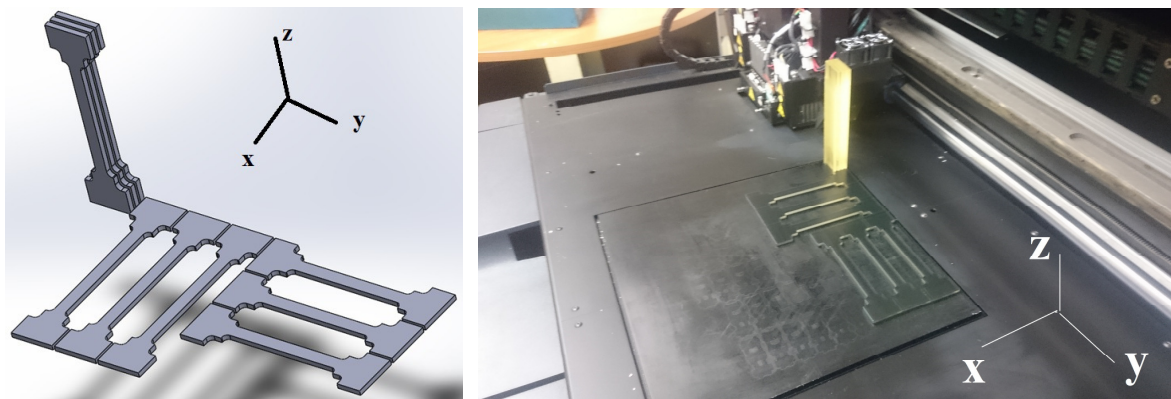
A 2. ábra szemlélteti a próbatesteknek a munkatérben belüli elhelyezkedését. A cikk további részében a próbatest orientációja, vagy irányítása alatt a nyomtatáskor a munkatérben elfoglalt helyzetének megfelelően a hossz tengelyének irányát értjük. Például a munkatér lapjára merőlegesen elhelyezett próbatestek orientációja "z".



1. ábra A nyíregyházi Egyetem OBJET Eden 350V típusú 3D nyomtatója (additív gyártó berendezés). A technológia két speciális irányt jelöl ki a térben: a nyomtatófej és a simító henger y irányba mozog, a rétegek síkjának normálvektora a z tengely irányába mutat.

A szakítóvizsgálatokat a tanszékünk akkreditált anyagvizsgáló laboratóriumában működő SZ10 típusú terhelő berendezéssel végeztük el.

Az elszakított próbatestek felületének morfológiai vizsgálatához a tanszékünkön működő HITACI SU-1510 típusú pásztázó elektronmikroszkópot (SEM) használtuk. A felvételek nagyítása 10 és 500 között változott, 15 kV gyorsítófeszültség mellett. Ez egy elektronágyú típusú SEM kompakt felépítéssel, kiegészítő egységekkel. A mintatartó legfeljebb 153 mm nagyságú mintát képes befogadni. A mikroszkóp számítógéphez csatlakozik, amelynek segítségével elvégezhető a kísérletek beállítása és a felvételek rögzítése, elemzése.



2. ábra A próbatestek helyzete a munkatérben testmodell formájában és a gyártást követően a valóságban. A próbatestek készletét két példányban, eltérő, 16 és 30 mikrométeres rétegvastagsággal készítettük el.

3. EREDMÉNYEK

Az elkészített próbatesteket szakítóvizsgálatnak vetettük alá. A vizsgálat eredményeit és azok statisztikai feldolgozásának főbb számait az 1. táblázat mutatja.

rétegvastagság (mikrométer)	orientáció	átlag	szórás
16	x	2,033	0,057
16	y	2,167	0,057
16	z	1,267	0,202
30	x	2,050	0,050
30	y	1,983	0,176
30	z	1,900	0

1. Táblázat A szakítóvizsgálatok során mért szakítóerők átlaga és szórása. Az első oszlop azt mutatja, hogy a próbatest milyen rétegvastagsággal készült, a második a gyártás során a próbatest irányítását a munkatérben.

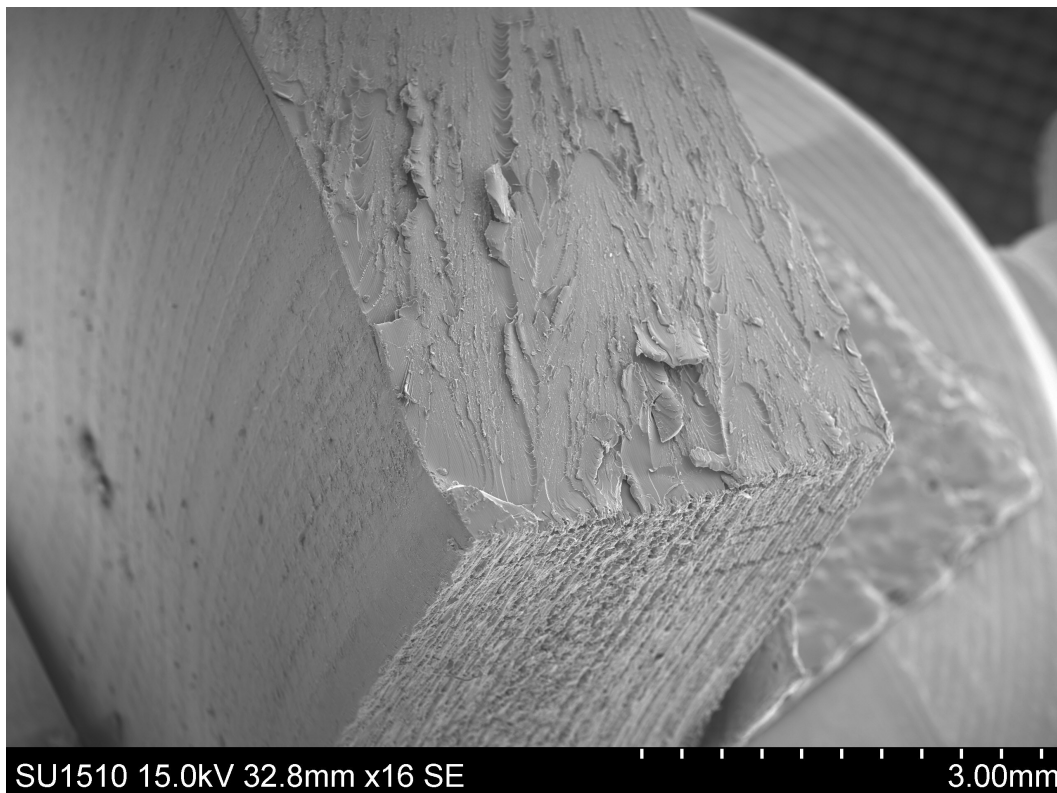
A szakítóvizsgálatok eredményei alapján két kérdésre kerestünk választ.

Az egyik kérdés, hogy az additív gyártás során a munkatérben belüli orientáció mennyire befolyásolja az elkészített próbatest elszakításához szükséges erő nagyságát. Ezt a kérdést meg lehet vizsgálni külön a 16 μm rétegvastagsággal és a 30 μm rétegvastagsággal készített próbatestek esetén. Feltételeztük, hogy a sokaságok normális eloszlásúak, ugyanakkor általában a szórások nem egyeznek, így a Welch-próbát alkalmaztuk a várható értékek egyezőségének vizsgálatára 0.05 szignifikanciaszinten. A 16 μm rétegvastagsággal készített próbatestek esetén szignifikáns különbség mutatható ki a Welch-próbával a várható értékek között, míg a 30 μm rétegvastagsággal készített próbatestek esetén a Welch-próba nem mutat szignifikáns különbséget.

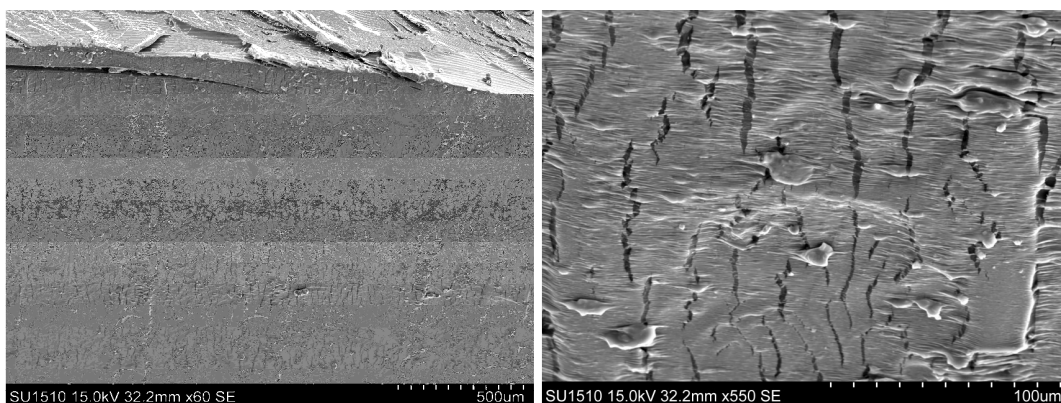
A 16 mikrométer rétegvastagság esetén a z irányú próbatestek szakítószilárdsága szignifikánsan különbözik az összes többiétől.

A másik kérdés, ami vizsgálható az, hogy ugyanolyan gyártási orientáció esetén a különböző rétegvastagsággal készített munkadarabok elszakításához szükséges erő nagyságának várható

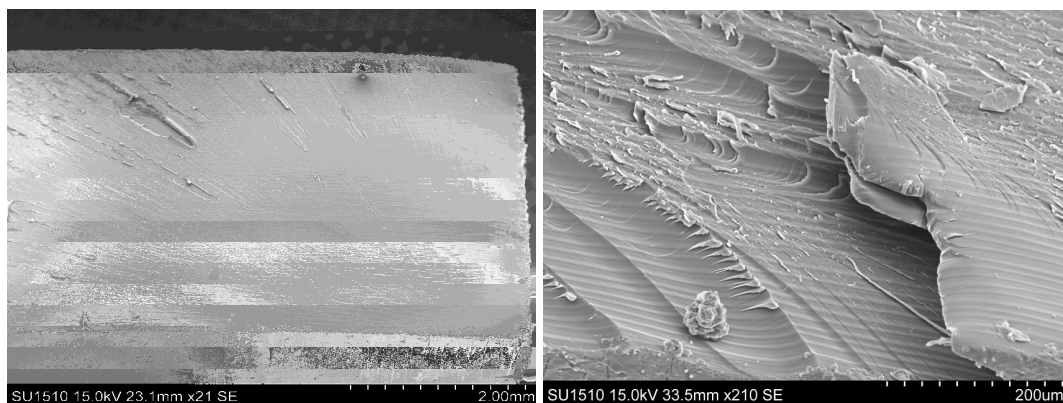
értékében van-e szignifikáns különbség. Mindkét esetben azt találtuk, hogy nincs, tehát a rétegvastagság megváltoztatása nem okoz szignifikáns eltérést. Az elektronmikroszkópos vizsgálatok megmutatták a szakítóvizsgálat során kialakult mikrorepedéseket (4. ábra), és a repedésterjedés irányát (3. és 5. ábrák).



3. ábra Az elszakított próbatest három jellemző, és egymástól lényegesen eltérő felülete, elektronmikroszkópos felvétel, 16-szoros nagyítás



4. ábra Repedések a tört felület közelében. A bal oldali ábra bal felső részén egy nagy repedés látható a tört felülettel párhuzamosan, igen közel ahhoz (50-szeres nagyítás). A jobb oldali ábra a bal oldali ábra alsó részéről készült 500-szoros nagyításban, 90 fokkal elfordítva, számos mikrorepedés látható a felületen.



5. ábra A tört felület makro és mikro mintázatai. A bal oldali ábrán a sugaras mintázat a repedés terjedésének nyomait mutatja. A jobb oldali ábrán 210-szeres nagyításban látható a tört felület, és az, hogy a repedés a rétegekre közel merőlegesen terjedt úgy, hogy a rétegek elszakadtak.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

PolyJet technológiával készített szabványos próbatestek szakítóvizsgálatát végeztük el. Kimutattuk, hogy a szakításhoz szükséges erő függ a gyártási orientációtól és a gyártás során alkalmazott rétegvastagságtól is. Az elszakított próbatestek mikroszerkezetét elektronmikroszkóppal figyeltük meg. Megfigyeltük a próbatesteken kialakult mikrorepedéseket, és azt, hogy a különböző orientáció esetén a repedésterjedés iránya is eltér.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **D. L. BOURELL, M. C. LEU, D. W. ROSEN (eds.)**, *Roadmap for additive manufacturing, identifying the future of freeform processing*, University of Texas, Laboratory for Freeform Fabrication, Advanced Manufacturing Center, USA, 2009 <https://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf> (downloaded on 25.03.2015)
- [2] **G. DEZSŐ, P. KÓSA**, *Roughness of plane faces produced by additive manufacturing*, International Journal of Engineering, X. 2. pp 181-184. ISSN:1584-2665, 2012
- [3] **G. DEZSŐ, I. DUDÁS, P. KÓSA, A. SZÁZVAI**, *Study on size accuracy of 3D printing*, XXVI. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, 29-30 March, 2012. (elektronik issue, ISBN: 978-963-661-773-8, L8_Dezso_Gergely.pdf)
- [4] **N. HOPKINSON**, *Additive manufacturing: What's happening and where are we going with printing in the third dimension?* http://www.researchgate.net/publication/266469818_Additive_Manufacturing_What%27s_happening_and_where_are_we_going_with_printing_in_the_third_dimension_Additive_Manufacturing_What%27s_happening_and_where_are_we_going_with_printing_in_the_third_dimension, (downloaded on 24.03.2015), 2010
- [5] **WOHLERS T, CAMPBELL RI**, *Pushing the Design Boundaries with Metal AM, 3D Metal Printing*, 2016(Spring), 2016 Full text: <http://3dmpmag.com/magazine/article.asp?iid=1&aid=11341> .

TERMÉSZETES PORÓZUS RENDSZEREKBE ÁRAMLÓ FOLYADÉKOK ESETÉBEN JELENTKEZŐ NYOMÁSVESZTESÉGEK VIZSGÁLATA

ADDITIONAL PROBLEM OVERVIEW OF FLUID FLOW IN POROUS SYSTEMS

DÓCS Roland¹, JOBBIK Anita²

¹M.Sc., tudományos segédmunkatárs, docs@afki.hu
Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

²Ph.D., tudományos főmunkatárs, jobbik@afki.hu
Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Kivonat: Folyadékok csövekben történő áramlását tekintve a fellépő nyomásveszteségek meghatározása mindennapos feladatnak tekinthető. Ugyanez természetes eredetű porózus közegekben azonban, már csak a szükséges paraméterek száma miatt is, inhomogenitásukat meg sem említve sokkal bonyolultabb. Darcy névéhez kötődik azon egyenlet, mely először fogalmazta meg ezen rendszerek eseteiben, az úgynevezett áteresztő képesség fogalmát, amely a folyadékok áramlásával szemben fellépő ellenállásokat írja le. Habár az egyenlet gyakorlatban használt formája egyszerű, a benne szereplő paraméterek egy része csakis laboratóriumi kísérletek útján határozható meg. Jelen tanulmányban bemutatjuk a porózus rendszerekben történő folyadék áramlások leírása során jelentkező problémákat, kitérve a kőzetek petrofizikai paramétereinek vizsgálataira, illetve azok szerepeire. Továbbá, számítások kerülnek bemutatásra, amelyekben meghatároztuk 1 méterre vonatkoztatott azonos keresztmetszetű acél csövek, elméleti- illetve valódi porózus rendszerek nyomás eséseinek értékét.

Kulcsszavak: porózus rendszer, Darcy egyenlet, permeabilitás, nyomás veszteség

Abstract: The task of describing fluid flow in porous media rather than in solid pipes is a much more difficult one. In order to define flow in these particular systems, Darcy's equation is required, in which at certain given criteria flow of fluids can be described. Although the equation is rather simple in order to be used, the so called petrophysical parameters have to be determined. These can only be obtained throughout laboratory measurements for each individual rock sample. In case of this paper those problems which are present regarding fluid flow in porous media will be observed. The importance of petrophysical property measurements will be mentioned in detail. Furthermore calculations of pressure drops will be included for steel pipe, theoretical and real porous systems with equal cross sectional area and length of one meter.

Keywords: porous system, Darcy's equation, permeability, pressure drop

1. A VIZSGÁLT RENDSZEREK NYOMÁSVESZTESÉGEINEK LEÍRÁSA

1.1. Acélcsövek esetében fellépő nyomásveszteségek

A fluidumok acélcsövekben történő áramlása során fellépő energia változások meghatározása igen egyszerű feladat. Mivel a cső, illetve a benne áramló közeg paraméterei jól ismertek, egyetlen tényező, a súrlódási együttható meghatározása szükséges. Az összes paraméter ismeretében, a cső egy adott szakaszában jelentkező nyomásveszteség értéke a következő egyenlettel határozható meg.

Az adott szakaszban jelentkezett energia változás mértéke, a potenciális- illetve kinetikai energia változások, továbbá a súrlódásból adódó visszafordíthatatlan veszteségek eredőjeként értelmezhető.

$$\frac{dp}{dl} = \frac{g}{g_c} \rho \sin \alpha + \frac{\rho v dv}{g_c dl} + f \frac{\rho v^2}{2 g_c d} \quad (1)$$

ahol:

- dp – adott dl hosszúság alatt fellépő nyomásveszteség értéke;
- dl – a figyelembe vett áramlási hossz;
- g_c – gravitációs gyorsulás;
- ρ – az áramló folyadék sűrűsége;
- α – az áramlás irányának a horizontális helyzethez képest bezárt szöge;
- v – az áramlás átlag sebessége;
- f – a súrlódási együttható értéke.

Az előzőekben meghatározott egyenlet tovább egyszerűsíthető a következő kritériumok bevezetésével. Összenyomhatatlan folyadékok esetében az áramlás irányában jelentkezett nyomásváltozások nem hatnak nagy mértékben a térfogatáram értékére, ezzel a kinetikai energiában bekövetkező változások elhanyagolhatóak. Továbbá horizontális áramlást feltételezve, szintkülönbség hiányában nem lép fel változás a potenciális energia értékében sem.

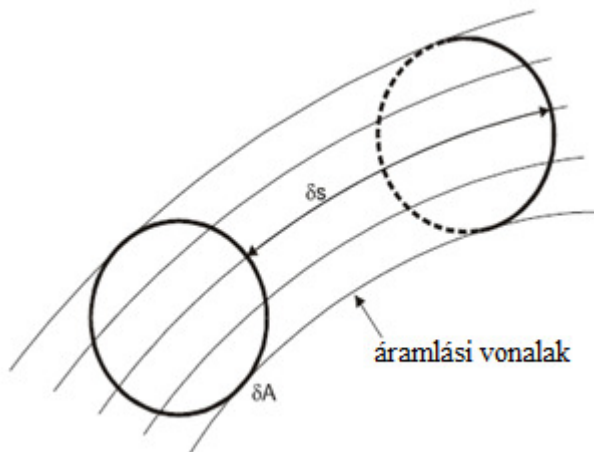
Ezen kritériumok bevezetésével a cső adott szakaszán végbemenő nyomáscsökkenést teljes egészben, a súrlódás által létrejött visszafordíthatatlan veszteségek okozzák. Tehát a veszteségek meghatározásának kulcsa a Darcy és Weisbach által meghatározott súrlódási együttható pontos ismerete.

1.2. Porózus rendszerek nyomásveszteségei

A Darcy által meghatározott egyenlet, amely a porózus rendszerekben történő összenyomhatatlan folyadékok áramlását írja le, a kompressziós, gravitációs, illetve súrlódási tényezők kivételével más nincsenek figyelembe véve (kapilláris és lendületi hatások nincsenek). Ezen egyenlet differenciális alakjának felírásához a következő feltételek teljesítése szükséges [1].

- Egy a térben lehatárolt térfogat (állandósított határokkal) leírása, oly módon, hogy az esetlegesen előforduló random hatások ne torzítsák a kapott eredményeket.
- Áramlási vonalak építik fel a felszínét az adott térfogatnak, amelyek merőlegesek annak keresztmetszeti síkjára.
- A kontroll térfogaton belül, a folyadékokra ható erők eredője zéró.
- Newton mozgásról szóló törvényét figyelembe véve, a folyadék test addig gyorsul, amíg annak eredője nagyobb mint zéró, de megtartja az adott sebességét (u_i).
- Az u_i azon értékét keressük, amelyet értelmezve a gyorsulások eredője a null vektorral egyenlő.

Ezen feltételeknek jól megfelel a következő ábrán értelmezett hengeres test (mint kontrol térfogat), amely keresztmetszete a folyadékok által rendelkezésre álló porózus áramlási keresztmetszetet, magassága pedig, annak értelmezett hosszát írja le.



1. ábra. Darcy egyenlete által lehatárolt kontrol térfogat: [1]

Az előzőekben megfogalmazott feltételek figyelembe vételével, Darcy folyadékokra értelmezett egyfázisú migrációjának egyenlete, a következő módon írható fel.

$$F_p + F_g + F_\mu = 0 \quad (2)$$

$$-\Phi \delta A \nabla p \delta s - \rho g \Phi \delta A i_3 \delta s - B \mu \delta A u \delta s = 0 \quad (3)$$

$$-\left(\nabla p + \mu \frac{B}{\Phi} u + i_3 \rho g \right) \Phi \delta A \delta s = 0 \quad (4)$$

ahol:

- F_p – a folyadékra ható kompressziós erő;
- F_g – a folyadékra ható gravitációs erő;
- F_μ – a lamináris súrlódásból adódó visszanyerhetetlen energia veszteség;
- Φ – a hengeres test porozitása;
- δA – a hengeres test alapterülete;
- δs – a hengeres test magassága;
- B – a porózus rendszer állandója;
- u – a folyadék áramlási sebessége.

A fent említett egyenletben két, a porózus rendszerekre értelmezett paraméter ismertetésére van szükség, amelyek a porozitás, illetve az adott rendszerre értelmezett állandó. Ezek értelmében $\Phi \delta A$ határozza meg, a rendszer, folyadékok áramlása szempontjából rendelkezésre álló keresztmetszetét. A B/Φ tag pedig az úgynevezett permeabilitás, vagy más néven az átteresztő képesség értékét adja meg, amely meghatározza, az adott folyadék áramlásával szemben fellépő ellenállások reciprokértékét, abban az esetben, ha azt csakis az adott folyadék telíti.

Mindkét paraméter csakis speciális laboratóriumi, úgynevezett petrofizikai mérések segítségével határozható meg. Értékeik ismeretében, Darcy egyenlete, a következő formában írható fel, az előző deriváltjaként.

$$u = -\frac{k}{\mu}(\nabla p + i_3 \rho g) \quad (5)$$

ahol:

k – a rendszer áteresztőképessége/permeabilitása.

Ahogy az látható, a konszolidált kövek pórusrendszerében történő folyadék áramlások viselkedésének leírása igen összetett feladat. Azonban a megfelelő mérési módszerek alkalmazásával értékeik nagy pontossággal meghatározhatóak. A következőkben a Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézetében használt, illetve kidolgozott mérési eljárások és eszközök bemutatására kerül sor.

2. A PETROFIZIKAI PARAMÉTEREK ISMERTETÉSE

2.1. Porozitás értékének meghatározása

A porozitás meghatározásához, amely megadja azon térfogat arányát, a teljes térfogathoz viszonyítottan, amelyet a pórusok töltenek ki, a minta három térfogatából kettőnek ismerete szükséges. Az említett harmadik térfogat, amely a minta térfogatában a mátrix vagyis anyag által kitöltött térfogatát adja meg, szilárdanyag térfogatnak nevezzük. A porozitást, így a következő arány párokkal határozható meg.

$$\Phi = \frac{V_p}{V_b} = \frac{V_b - V_s}{V_b} \quad (6)$$

ahol:

V_p – a pórusok által elfoglalt tér mérete;

V_b – a minta geometriai térfogata (össztérfogata);

V_s – a minta mátrix térfogata (szilárdanyag térfogat).

A V_b értéke a hengeres minta l illetve d paramétereinek alapján számítható, így ennek ismeretében már csak a V_p vagy V_s értékének meghatározására van szükség. Annak függvényében, hogy a mérési módszer során a V_p avagy a V_s értékét határozzuk meg beszélhetünk direkt, avagy indirekt módszereiről a porozitás meghatározásának.

Az ebben az esetben használt Héliumos multypicnométer egy indirekt módja a porozitás meghatározásának, amely során Boyle törvényét felhasználva mérhető meg az adott minta V_s térfogata.

Az eszköz mérőkörét két ismert térfogatú cella alkotja, a referencia, illetve minta cella. A referencia cellába Hélium gázt engedve, így beállítva annak referencia nyomását, majd ezt expandáltatva a teljes mérőkör térfogatára (referencia és minta cella), egy ennél alacsonyabb nyomást eredményezve a két nyomás ismeretében meghatározható a minta cellában található közet mátrix térfogat.

Mivel a minta mátrix térfogata csökkenti a gáz expanziójára rendelkezésre álló térfogatot, az ebben az esetben létrejött expanziós nyomás értéke magasabb lesz, mint amekkora az üres mintacella esetében lenne. Ezen nyomások, illetve cella térfogatok segítségével a cellában lévő anyag térfogat a következő egyenlettel határozható meg, izotermikus körülmények között.

$$V_s = V_C - V_R \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right) - 1 \right] \quad (7)$$

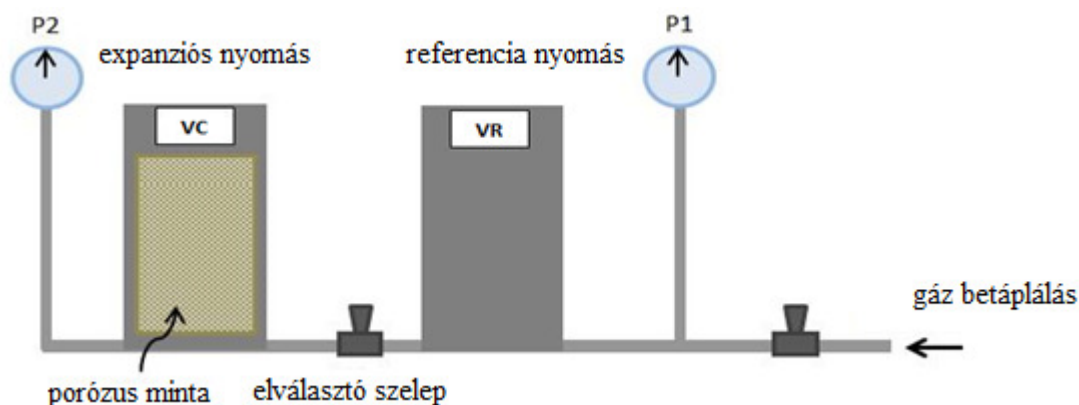
ahol:

V_C – a Héliumos multypicnométer mintacellájának térfogata;

V_R – a referencia cella térfogata;

p_1 – a referencia cellában beállított és állandósult nyomás;

p_2 – a teljes mérőkör térfogatában létrejött expanziós nyomás értéke.



2. ábra. A Héliumos multypicnométer sematikus ábrája

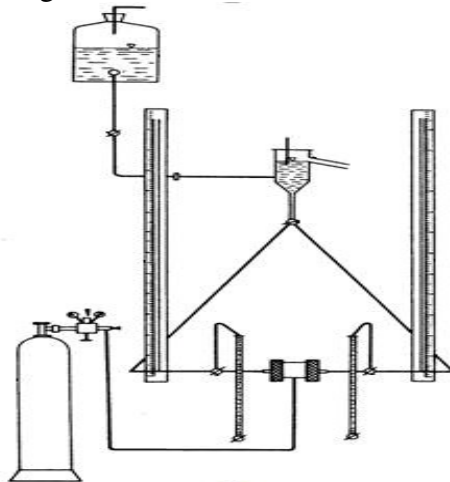
A mérés során háromszor történik meg a referencia nyomás beállítása, illetve az expanziós nyomás felvétele, így három számított V_s érték áll rendelkezésre. A minta mátrix térfogata ezek átlagából származik. Az érték pontossága, a minta száraz tömege, illetve a számított térfogatok által meghatározott szilárd anyag sűrűségek szórásával határozható meg. Azon esetekben, amelyekben a szórás értéke a $0,003 \text{ g/cm}^3$ -t meghaladja, a mérést pontatlannak kell minősíteni, illetve a mérést meg kell ismételni, mindaddig amíg ezen érték nem lesz megfelelő.

Sajnálatos módon a minta porozitásának ismeretében információink nem elegendőek az áramlási viszonyok meghatározására. Mivel az összenyomhatatlan folyadék áramlására helyt adó effektív pórus térfogat kiterjedése mellett, annak szerkezetére is szükség van, hogy a minta térfogatában az adott térfogatáram során jelentkezett nyomáskülönbség értékét meghatározhassuk.

Tehát a porózus rendszer, nem modellezhető egy egyszerű cső segítségével, amely belső átmérője korrigálva van a porozitás ($d_i\Phi$) értékével. Ha nem áll rendelkezésünkre olyan eszköz (röntgen, CT) amely segítségével egy három dimenziós képet alkothatnánk a rendszer szerkezetéről, csakis áramlási vizsgálatokra hagyatkozhatunk.

2.2. Áramlási vizsgálatok

Ezen laboratóriumi áramlási vizsgálatok során, a már megemlített B/Φ (permeabilitás) rész határozható meg Darcy egyenletéből. Mivel a minta geometriája ismert, egy adott indító nyomás, azaz nyomáskülönbség alkalmazásával (a kilépő oldalon a nyomás atmoszférikus), a rajta, adott térfogat-egységnyi folyadék átáramlásához szükséges időegység rögzítése mellett, meghatározható a kialakult térfogatáram értéke.



3. ábra. A vízzel szemben jelentkező, abszolút permeabilitás mérésére használt, mérőkör sematikus ábrája

Az 5. egyenlet átrendezésével (8. egyenletet kapva) a mért adatok ismeretében meghatározható az áteresztőképesség értéke. Az összenyomhatatlan fluidumok esetében mért áteresztőképesség, nem úgy mint a gázok esetében egyszerűen az egyes mért pontok eseteiben számított permeabilitások átlag értékeként határozható meg.

$$k = \frac{q\mu l}{A\Delta p} \quad (8)$$

Mint az már említésre került, porózus rendszerek esetében nincs lehetőség egyszerűsített modellek alkalmazására. Ennek bemutatására egy valódi minta esetében (1m) mért nyomásesése mellett, bemutatásra kerülnek, egy azonos keresztmetszetű acélcső, továbbá ugyanezen acélcső esetében, egy a porozitás értékével azonos keresztmetszet csökkentés mellett, ismételten jelentkező számított értékek. Az áramló folyadék víz, amely dinamikus viszkozitása labor körülmények között (1bar, 20°C) 1cP, illetve annak térfogatárama 25 ml/h, amely oly módon lett kiválasztva, hogy a porózus minta esetében biztosan a lamináris tartományba essen az áramlás, mivel ez Darcy egyenletének egyik alap feltétele.

3. A VIZSGÁLT RENDSZEREK NYOMÁSESÉSEINEK MEGHATÁROZÁSA

Az acélcső esetében végzett nyomásesés számítások Takács Gábor [3] szerint leírtaknak megfelelően történtek. Első lépésben az áramlási sebesség értékének számítására volt szükség, ahol a B_w paraméter az úgynevezett teleptérfogati tényezője a víznek, amely leírja annak térfogatváltozását a normál, illetve az adott körülmények közötti átállása során. A mi esetünkben $B_w=1$ értéket használtunk.

1. Táblázat A vizsgált rendszerek geometriája

	d_i , [cm]	Φ
Acélcső	3,762	0,0000
Elméleti porózus rendszer	$0,2879 \cdot 3,762 = 1,0831$	0,2879
Porózus minta	3,762	0,2879

$$v = 0,0119 \frac{q_w B_w}{d_i^2} \quad (9)$$

ahol:

d_i – az acélcső belső átmérője.

Az áramlás sebességének ismeretében a Reynolds szám számítására volt szükség annak érdekében, hogy megállapítsuk az adott áramlási sebesség és csőátmérő esetében fellépő áramlás tartományát. Ez esetben az érték 2300 alatti, így a lamináris tartományba tartozik, tehát a megválasztott térfogatáram megfelelő volt. Ebben a tartományban a súrlódási nyomásveszteség állandója könnyen meghatározható a 11. egyenlet segítségével. Végezetül a súrlódás által fellépő nyomásveszteség (12. egyenlet) értéke került számításra.

$$N_{Re} = 124 \frac{\rho v d_i}{\mu} \quad (10)$$

$$f = \frac{64}{N_{Re}} \quad (11)$$

$$\Delta p_f = 1,294 E^{-03} f \frac{l}{d_i} \rho v^2 \quad (12)$$

ahol:

N_{Re} – az áramlások tartományát meghatározó Reynolds szám értéke.

Az elméleti porózus minta esetében, a számítások, az acélcső szerint vázoltak alapján történtek. Az áramlás során tartomány váltás nem történt, az átmérő jelentős mértékű csökkentésének ellenére sem.

A porózus mintán az indító nyomás értéke aszerint került beállításra, hogy az atmoszférikus kilépő oldali nyomás jelenlétében, 25 ml/h átlagos térfogatáramot eredményezzen. A feljegyzett nyomás- illetve térfogatáram értékek alapján az áramlás ez esetben is lamináris tartományba esett. Mivel mindhárom vizsgált rendszer során lamináris áramlás jött létre, így a térfogatáram értékének módosítására nem volt szükség.

2. Táblázat A vizsgált rendszerek nyomásesései

Acélcső [MPa]	Elméleti porózus rendszer [MPa]	Porózus minta [MPa]
1,4099E10-7	2,0522E10-5	0,4053

Amint azt feltételeztük a fellépő nyomásveszteségek, a porózus rendszer esetében kiemelkedően a legnagyobb, az acélcső esetében pedig a legalacsonyabb értékekkel bírtak. Közöttük az eltérés pedig elérte a hat tizedesnyi értéket. Továbbá az elméleti porózus rendszer esetén fellépő veszteség, meg sem közelítette a valódi rendszerét, annak ellenére, hogy az effektív áramlási térfogataik megegyeztek.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Porózus rendszerek eseteiben a fellépő nyomásveszteségek értékeinek meghatározására a legmegfelelőbb mód, ha a közetből kialakított hengeres mintákon mérjük meg azokat, mivel összetett pórusrendszerük modellezése bizonyos eszközök nélkül nem megoldható.

Ezen nem változtat az összetettebb petrofizikai paraméterek (pórusméret eloszlás, kapilláris nyomások, nedvesítési tulajdonságok) értékeinek ismerete sem.

Annak ellenére is, ha sikeresen modelleznénk a rendszer nyomásveszteségét, példa képen, több kapilláris értelmezésével, az helyes eredményt hozva sem ismertetné a valóságban végbemenő folyamatokat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HEINEMANN, Z. E.:** *Fluid Flow In Porous Media*, Textbook Series Volume 1, Montanuniversitat Leoben Petroleum Engineering Department 2005., p. 12-97.
- [2] **MATING, B., BÓDI, T.:** *Rezervoármechanika I*, Oktatási segédanyag, Miskolci Egyetem, Olajmérnöki Tanszék 1997., p. 45.
- [3] **TAKÁCS, G.:** *Production Engineering Fundamentals Vol. 1*, University of Miskolc, Petroleum Engineering Department, 2012., p. 19-23.

FORGÓDUGATTYÚS BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ELEMZÉSE A HAGYOMÁNYOS MOTOROKKAL ÖSSZEVETVE

ANALYSIS OF THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF ROTARY COMBUSTION ENGINES IN COMPARISON WITH CONVENTIONAL ENGINES

DUDÁS László¹, ARDAY Viktor²

¹egyetemi docens, iitdl@uni-miskolc.hu

¹Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

²kutató, ardayviktor96@gmail.com

² Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: A cikk a belsőégésű motorok két alapvető típusának, a hagyományos alternáló dugattyús és a forgódugattyús kialakítás illusztris képviselőinek előnyös és hátrányos tulajdonságait veti össze. A hagyományos motorok evolúciójának két mérföldkövét, a Dugald Clerk által 1881-ben feltalált kétütemű és a Nikolaus August Otto 1861-es szabadalmából ismert négyütemű, alternáló mozgást végző dugattyúkkal működő motorokat és a forgódugattyúval működő, Felix Wankel által 1951-ben feltalált és Hanns Dieter Paschke által a mai ismert formájára hozott, valamint a Dudás László által 2015-ben szabadalmaztatott forgódugattyús motorokat elemzi többféle szempontból.

Kulcsszavak: belsőégésű motor, kétütemű, négyütemű, Wankel, forgódugattyús

Abstract: The paper compares the advantages and disadvantages of the illustrious representatives of the internal combustion engines having reciprocal pistons or rotary pistons. It analyses from different viewpoints the two milestones of the evolution of conventional reciprocal engines, the two stroke motor invented by Dugald Clerk in 1881 and the four stroke one patented by Nikolaus August Otto in 1861 and two versions of the rotary internal combustion engines, the first, invented by Felix Wankel in 1951 and reshaped to the well known current form by Hanns Dieter Paschke and the other, patented by László Dudás in 2015.

Keywords: internal combustion engine, two strokes, four strokes, Wankel, rotary piston

1. BEVEZETÉS

Kijelenthetjük, hogy pár éven belül az elektromos hajtású autók átveszik a belsőégésű motoros autók helyét. A majdnem teljes leváltáshoz kb. 25 év szükséges, mivel még napjainkban is adnak el igen jelentős mennyiségben hagyományos belsőégésű motorral szerelt autókat, amelyek kifutása kb. tíz-tizenöt év. Ehhez még hozzáadódik a hagyományos autókat gyártó cégek érdekeltsége a gyártórendszereik amortizálásában, ami szintén legalább 10 év. Az átállást felgyorsíthatja a napjainkban megjelent szupergyorsan újratölthető akkumulátor, amellyel a töltés ideje 5-10 percre csökken. A belsőégésű motorok leváltását gyorsíthatja a környezetvédelmi előírások szigorodása is. Ezen motorok vissza fognak szorulni a kisebb sorozatban gyártott, speciális járművekbe, gépekbe.

A cikkben elvégzett elemzés célja a belsőégésű motorok fejlődésének, a kialakult konstrukciók előnyeinek és hátrányainak megismerésén keresztül a szabadalmaztatott *Dudás-féle* forgódugattyús motor kialakításához és prototípusának elkészítéséhez tapasztalatok gyűjtése, a más típusú motoroknál feltárt nehézségek és megoldások megismerése, ezáltal egy minél progresszívebb motorkonstrukció kialakítása. Az előny és a hátrány relatív, attól függ, kinek mi fontos. A vevőnek a minél kevesebb alkatrészből álló egyszerű motor, az

alkatrészforgalmazónak a minél több alkatrészt tartalmazó motor. Vannak objektív, a konstrukció lényegéből eredő előnyök és hátrányok és léteznek a technológia fejletlenségéből, a konstrukció kiforratlanságából eredő hátrányok, melyek megszüntethetők. A forgódugattyús motoroknál nincs szelep és szelepvezérlés, szelepállítós, vezérműsík csere, stb. és az ezek kivitelezéséhez szükséges ipari háttér nem szükséges. Az ellenérdekű autóipar és kiszolgálóipar nem volt érdekelt abban, hogy a forgódugattyús motorok hiányosságait megszüntesse. Hasonlóan hátráltató tényező volt a képzett szervizszakemberek és szervizek hiánya. Ez a gond minden kissorozatban gyártott gépnél jelentkezik.

A hagyományos alternáló dugattyús motorok két fő reprezentánsa, a kétütemű motor és a négyütemű motor közül az utóbbit, a négyütemű alternáló dugattyús *Otto* motort vetjük össze a forgódugattyús motorok két reprezentánsával, a *Wankel* motor *Paschke* által módosított állóházas verziójával és a *Dudás-féle* forgódugattyús motorral. Csak a korrektség kedvéért említjük meg, hogy a szelepvezérléssel ellátott négyütemű motort sem *Otto* találta fel, hanem 1862-ben *Alphonse Beau de Rochas* francia mérnök, de mint sok más találmány esetében, nem az igazi feltalálóról nevezte el a konstrukciót a világ, hanem az elterjedésében nagyobb szerepet játszó mérnökről [1].

2. A BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK EVOLÚCIÓJA

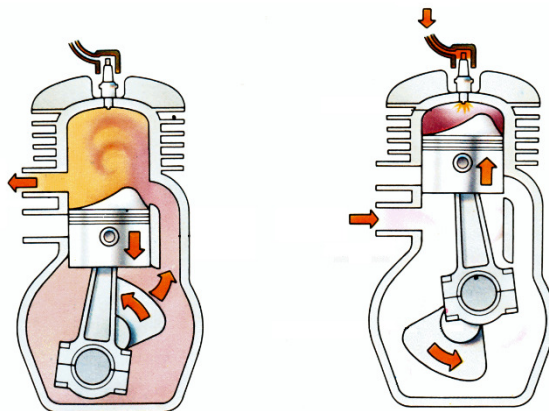
Ebben a fejezetben röviden áttekintjük az alternáló dugattyús és a forgódugattyús motorok kialakulásához vezető utat, talán a kevésbé ismert forgódugattyús motoroknak egy kissé nagyobb figyelmet szentelve.

2.1. Alternáló dugattyús motorok evolúciója

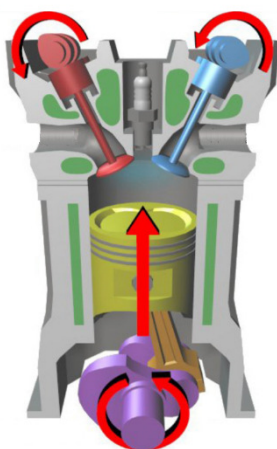
Az alternáló dugattyús motorok evolúciójának ismertetése könyveket igényelne, itt a terjedelmi korlátok miatt csak a vezérelt szelepes *Otto* motorok kiválasztódását eredményező utat, annak is csak pár fontos pontját emeljük ki. Elsőként a kétütemű motorokról szólnunk, mivel az ezeknél alkalmazott dugattyú általi áramlásvezérlés elve visszaköszön a *Wankel-féle* forgódugattyús motoroknál is. Másodikként az időbeli kialakulást figyelembe véve a vezérelt szelepes *Otto* motorokat elemezzük, majd végül a kiváló termikus hatásfokú, de az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások miatt elvérezni látszó *Diesel* motorokat említjük meg.

A *Dugald Clerk* által 1881-ben feltalált **kétütemű motor** egyszerű felépítése és minden főtengegyfordulatra hasznos munka végzése miatt még napjainkban sincs leírva a rossz emissziós tulajdonságai ellenére, mely abból ered, hogy a kipufogás és a beszívás nem különíthető el egymástól teljesen. A működést az 1. ábra mutatja. Kompresszióviszonyuk is elmarad a négyütemű motorokéhoz képest. A több fejlesztésen átment, cross-versenymotoroknál napjainkban is alkalmazott típusok gyenge pontja a rossz emissziós érték. Befecskendezéses továbbfejlesztésükkel sikerült teljesíteni napjaink szigorú környezetvédelmi elvárásait is, lásd pl. a Ronax 500 országúti motorkerékpárt [2].

A vezérelt szelepes **négyütemű** belsőégésű motort *Nikolaus August Otto* szabadalmaztatta 1861-ben. Az igen sikeres és nagyon jelentős mértékben tökéletesített konstrukciót használja napjaink legtöbb személyautója. A négyütemű motor működését a 2. ábrán követhetjük. Annak ellenére, hogy csak minden második főtengegyfordulatra jut egy hasznos munkát végző expanziós ütem, a sok fejlesztésnek és kiegészítésnek köszönhetően képes teljesíteni napjaink szigorú környezetvédelmi előírásait is, így nagy túlélő.



1. ábra Kétütemű belsőégésű motor dugattyú általi áramlásvezérléssel [2]

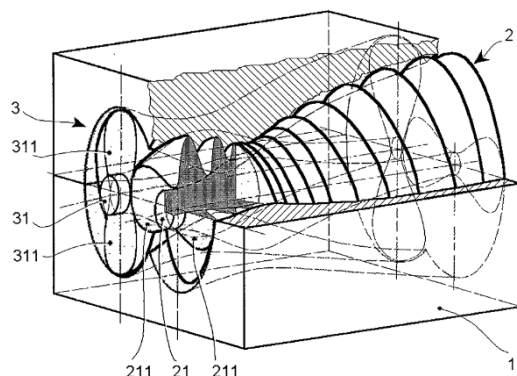


2. ábra Négyütemű belsőégésű motor vezérelt szelepekkel [3]

Az igen jó termikus hatásfokot elérő **dízel motort** *Rudolf Diesel* szabadalmaztatta az 1880-as években. A hatásfokot azáltal sikerült növelnie, hogy igen nagy kompressziót alkalmazott a beszívott levegőre és ebbe fecskendezte be az üzemanyagot, amely a nagy hőtől, vagy az alkalmazott izzítógyertyától belobbant. Ily módon a benzin alapú négyütemű motoroktól is 25-30%-kal jobb üzemanyagkihasználást mutatott. Ehhez járult a dízelolaj magasabb energiatartalma a benzinéhez képest. A lassabb égés miatt azonban a dízelmotorok dinamikája elmaradt a benzinmotorokétól, nyomatékuk viszont jobb volt. A magas kompresszió robusztusabb kialakítást igényelt, ami megmutatkozott a motorok hosszabb élettartamában is. A csatát végül is a dízel motorok az erősebb környezetszennyező hatásuk, illetve az ezt kiküszöbölő műszaki megoldások kényelmetlensége és drágasága miatt veszíthetik el [4].

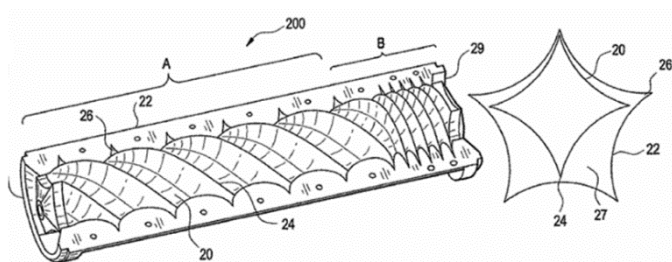
2.2. Forgódugattyús motorok evolúciója

A forgódugattyús motorok evolúciója szintén messziről indult és két ágon zajlott le: a csavarkompresszor ősből kiindulva és a növekvő üregű szivattyúk ágán. A *csavarkompresszor ág* a német feltaláló, *Krigrar* 1878-as szabadalmával indult [5] és sokféle konstrukción keresztül fejlődött, melyek változó menetemelkedéssel, változó menetprofillal és szögbe állított rotortengelyekkel rendelkeztek, mi több, még két rotor helyett hármat is alkalmaztak [6]. A fejlődés végül *Perna* révén egy olyan konstrukciót eredményezett [7], amely már egymagában is alkalmas belsőégésű motornak, mert kompressziós és expanziós szakaszai egyaránt vannak, amint a 3. ábrán látható.



3. ábra Perna belsőégésű motor találmánya [7]

A növekvő üregű szivattyúk ág az amerikai feltaláló, *Moineau* találmányával [8] indult 1932-ben. Az ő konstrukciója egy két egymásra szuperponált forgómozgást – azaz bolygómozgást – végző, csavarfelületű rotorból és egy azt körülölelő, belső csavarfelületű álló kamrából állt. A kamra csavarfelülete eggyel több, vagy kevesebb bordát tartalmazott, mint a rotoré. A *Moineau-féle* kompakt kialakítás több variáns létrejöttét indukálta. A kiemelendő kialakítások hasonlóan excentrikus tengelyelrendezést alkalmaztak [9,10]. Ezen vonalnak a *Dudás-féle*, később elemzendő motorhoz legközelebb álló variánsa két, eltérő emelkedésű csavarfelületekkel bíró szakaszt tartalmazott, amint a 4. ábrán látható [9]. A *Dudás-féle* szabadalmaztatott motor [11] az előző kialakításoktól eltérően folytonosan változó emelkedésű csavarfelületeket tartalmaz oly módon, hogy egymást követi a kompressziós szakasz és az expanziós szakasz, lásd a 6. ábra alsó részén.

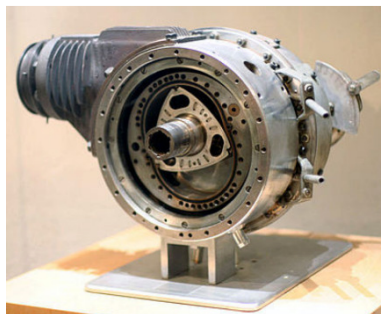


4. ábra A Murrow-Giffin típusú turbina [9]

Bár egyszerűbb, síkbeli kialakítása miatt a forgódugattyús motorok elemzésének elejére kívánczozna, feltalálásának ideje (1951) miatt itt említjük a *Felix Wankel* által kidolgozott híres konstrukciót [12], mely tulajdonképpen eddig egymaga jelentette a forgódugattyús motort (5. ábra). A *Wankel* motor név alatt a *Hanns Dieter Paschke* által módosított, állókamrás, bolygódugattyús verzió [13] terjedt el, mely a 6. ábra középső részén látható.

Paschke az üzemanyag könnyű bevezetése és a kipufogógázok könnyű elvezethetősége érdekében feláldozta az abszolút nyugodt járást eredményező fix tengely körüli forgómozgásokat, és azokat a dugattyúra vitte át, ezáltal létrehozva a jól ismert bolygódugattyús konstrukciót. Ezzel a kialakítással a nagy autógyárak mindegyike folytatott kísérleteket, de legtovább a Mazda jutott. Az axiális átömlésű növekvő üregű gépek fejlődésének végén található *Dudás-féle* motor egyesíti az eredeti *Wankel* motor tiszta forgó mozgását a *Paschke-féle* kialakítás könnyű gázcsatlakoztatásával. A 2015-ben szabadalmat kapott találmány a 6. ábra alsó részén látható.

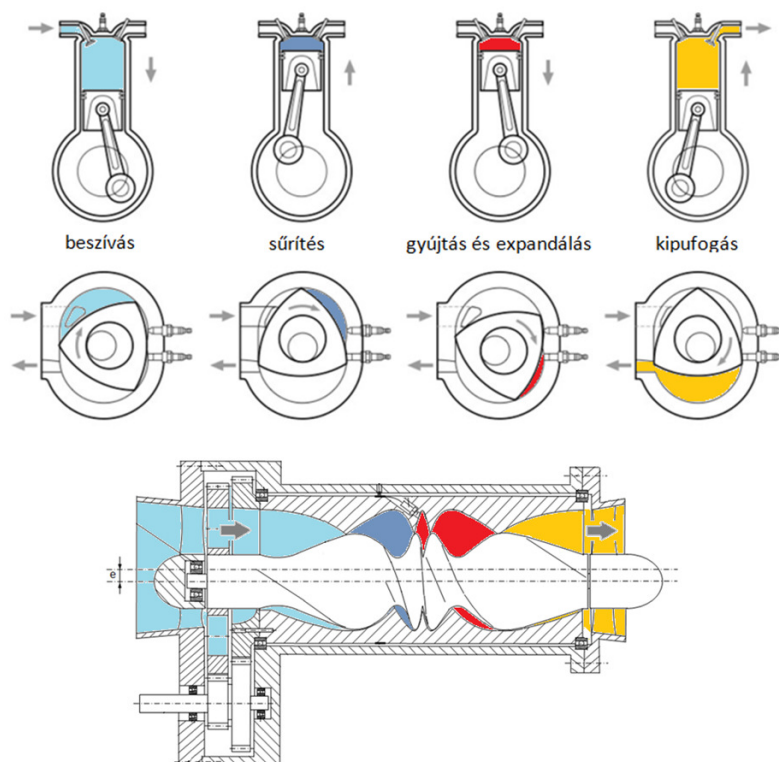
A következő fejezetben ezen három belsőégésű motor előnyös és hátrányos tulajdonságait vetjük össze.



5. ábra A Wankel által épített DKM 54 jelű, tiszta forgómozgásokat alkalmazó motor [12]

3. A BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ÖSSZEVETÉSE

Fő előnyök Az *Otto* motor előnye az igen magas szintre jutott továbbfejlesztése, amely sok, az első konstrukciókat terhelő problémát megoldott. A javítások között említhetjük a jobb gázcserét jelentő négyszepes kialakítást, a változó szelepvezérlést, a motorvezérlő által kezelt benzinbefecskendezést, a jobb kompressziót és termikus hatásfokot eredményező kompresszoros kivitel, a könnyített dugattyúk alkalmazását, a jó tömítettséget és olajfelhasználást, illetve ezen keresztül környezetkímélést eredményező kifinomult gyűrűrendszert a dugattyúkon, a zajszegény bordásszíjakat a vezérlésben, a katalizátorok és a lambdaszonda alkalmazását a kis környezetterhelés elérésére, stb. Pillanatnyilag a három motortípus közül a legjobb a környezetkímélésük, azonban ez magyarázható a messze előretartó tökéletesíthetőségükkel is. A 6. ábra felső része mutatja a működési ütemeket.



6. ábra Az *Otto*, a Wankel és a *Dudás-féle* motor működési ütemeinek összevetése. Megfigyelhető, hogy a forgódugattyús motorokban több ütem van egyszerre jelen

A forgódugattyús motorok előnye az alternáló dugattyúsokhoz képest a hihetetlen simaságú futás, a nyugodt járás és a kompakt felépítés. A magas fordulatszámuk és az igen jó teljesítmény/súly arány miatt inkább versenyautókhoz alkalmasak. A *Dudás-féle* motornál elérhető a beömlés teljes egyenletessége is, illetve a kipufogás nyomását is szabályozhatjuk a kipufogóüreg hosszának változtatásával, bár ez szilárdsági kérdéseket is felvet.

Fő hátrányok A *Wankel* motor az áramlások vezérlését tekintve gyakorlatilag a hagyományos kétütemű motorokkal rokon, ahol a nyílásokat a dugattyú nyitotta, zárta. A gond is hasonló, azaz az expandáló gáz még nem égett el teljesen, amikor a kiömlőrés már nyit. Ezért csap ki láng a motorból, ami üzemanyagveszteség, teljesítményveszteség és környezetszennyezés egyszerre. Éppenséggel az utóbbin lehet segíteni egy katalitikus utánégetővel, de ez nem igazi megoldás. A ház beömlő és expanziós fele közötti állandó hőmérsékletkülönbségnek kitett, a kamrafelületekkel érintkező éltömítésen jelentkező igen gyors ciklikus hőmérsékletváltozás magas követelményeket támaszt a tömítés anyagával szemben. Mindezek a működésbeli gondok nem látszanak elsőre a zseniális geometriai kialakítást szemlélve. A csúszó él- és oldaltömítések kenése érdekében a szívóüregbe befecskendezett olaj égése magas károsanyag- és szagkibocsátást jelent, amely jól ismert a dízel motorok révén, melyek úgy tűnik, szintén csatát vesztek az egyre szigorodó környezetvédelmi elvárások frontján. A három motortípus közül a *Wankel* motor fogyasztja a legtöbb olajat, ennek minden hátrányával együtt.

Csapágyazás Az excentrikus tengely miatt mind az *Otto*, mind a *Wankel* motorok siklócsapágyazásúak, amelynek súrlódási vesztesége működés közben nem jelentősen rosszabb a gördülőcsapágyakétól, de határfordulatszámuk kisebb és az indításnál és leállásnál fellépő vegyes súrlódás miatt is hátrányosabbak, nagyobb veszteséget okoznak. Ugyanakkor a dinamikus terhelést jobban elviselik, ami motoroknál üzemszerű jelenség. A rotorsúrlódás nélküli *Dudás-féle* motor működéséhez egyértelműen a golyóscsapágyak illenek, melyek kerámiából is készülhetnek, így nem akadályozzák az igen magas, akár 40 000/min fordulatszám és igen magas hőfok elérését sem, és előnyük a könnyű kismértékű előfeszíthetőség, amely szükséges a szűk működési hézagokkal üzemelő forgórészek csapágyazásához.

Hatásfok Hatásfok szempontjából összevetve az *Otto* motorokat a *Wankel* motorral kijelenthető, hogy a forgattyús hajtómű 1% körüli veszteségével a *Wankel* motor 10% vesztesége áll szemben, ami abból ered, hogy a kompresszióviszony nem állítható be a szükséges mértékre, mivel az a geometria által eleve adott. Kis mértékben a háromszögrotor oldalfalába munkált üreg méretével változtatható, azonban ez a kipufogó és a beömlő terek összenyitását is jelenti a kipufogás végén és a beszívás kezdetén, illetve az üregben marad ki nem pufogott gáz, mely helyet vesz el a beszívott keverék elől. Mindezek a problémák a *Dudás-féle* motornál nem léteznek, mivel kizárólag forgó mozgó alkatrészeket tartalmaz, a kompressziós és expanziós viszonyok egymástól függetlenül tág határok között állíthatók, a beszívott komprimált keverék és az expandáló munkavégző gáz teljesen el van egymástól szeparálva, és az expandálásra és égésre rendelkezésre álló idő önállóan szabályozható. Akár utángyújtás is kivitelezhető az expanziós kamra tetszőleges helyén. Mindez a nagy szabadságfok abból ered, hogy a konstrukció nem síkbeli, hanem térbeli a *Wankel* motorhoz képest. Nem hallgatható el azonban a *Dudás-féle* motor azon hátránya, hogy hosszabb kiterjedésű, amely a rotor lehajlásának méretezését igényli, valamint az alakos rotor és különösen az osztott kamra gyártása igényes és összetett, azaz drága. Többek között ez is indokolja ezen alkatrészek kerámiából történő gyártását, mely esetén a hűtésigény és a hőveszteség is elmarad. A súrlódásmentes üregzárás a súrlódási veszteség szempontjából előnyös, a tömítettség szempontjából viszont hátrányos.

Geometriai bonyolultság A mai korszerű CNC gépek lehetőségeit, illetve a kerámia alkatrészek gyárthatóságát figyelembe véve a hagyományos *Otto* motorok és a *Wankel* motorok egyforma gyártási bonyolultságúak, nem tekintve itt a több/kevesebb alkatrész miatti eltérést. A *Dudás-féle* motor geometriai bonyolultsága a legnagyobb, ami speciális gyártási eljárást, szoborfelület megmunkálást, illetve kerámia esetén formaöntést igényel.

Kompaktság, teljesítmény/tömeg, teljesítmény/térfogat arány A legkompaktabb a *Wankel* motor, majd talán az *Otto* motor következik. A *Dudás-féle* motor a rotor és forgókamra hossza miatt kevésbé tömör, de megfelelő kialakítással ezen lehet javítani. A legjobb teljesítmény/tömeg aránnyal a *Dudás* motor büszkélkedhet, ahol a hosszmenti négyféle ütem egyszerre a rotor két oldalán megduplázva zajlik, a *Wankel* motornál a rotor három oldalán egyszerre három ütem dolgozik, míg az *Otto* motornál egyidőben csak egyféle ütem látható (6. ábra). Mind a három motorféleség elképzelhető többdugattyús, kompakt kivitelben, ami mind a *Wankel*, mint az *Otto* motorok kiegyensúlyozott forgására jó hatással van és a teljesítmény/tömeg arányhoz hasonló teljesítmény/térfogat arány sorrendet eredményez.

A motorok alkatrészmennyisége Az alkatrészmennyiség a *Pashcke* által módosított, tiszta forgómozgásokat alkalmazó *Wankel* motorból kialakított bolygódugattyús motor esetén a legkevesebb, mert a fogaskerekek is a ház és a rotor szerves részei. Mivel azonban a tömítések is megjelennek önálló elemekként és a fogaskerekeket külön kell legyártani az eltérő anyagminőség miatt, a *Dudás-féle* motor alkatrészmennyisége akár kevesebb is lehet. A *Dudás-féle* motornál a kis excentricitás miatt belsőfogazat a rotornál nehezen alakítható ki. Az alkatrészmennyiség alapján a közel háromszor annyi alkatrészből álló *Otto* motor áll a sor végén, főként a szelepek és a szelepvezérlés miatt.

A motorok szerelhetősége és javíthatósága A szerelhetőség részben összefügg az alkatrészek darabszámával és kihat a javíthatóságra. A legkönnyebben szerelhető a *Wankel* motor. Az *Otto-féle* kialakítás és a *Dudás-féle* motor egyaránt vet fel szerelési nehézségeket, de a hagyományos motornál inkább a szerelés elnyúlása, míg a *Dudás-féle* motornál a szerelés precizitásigénye jelent gondot.

A motorok meghibásodási valószínűsége A meghibásodási valószínűsége egyértelműen a *Dudás-féle* motornak a legkisebb, hiszen a forgódugattyú és a forgókamra csak forog, nem is érintkeznek, a fő hibalehetőség a fogaskerekeknél és a csapágyaknál adódik. A motor végleges verziójának kerámiából kellene készülnie. Cirkónium alapú ipari fogaskerekeket és csapágyakat már ma is vásárolhatunk a kínai webes portálokon (AliBaba.com, AliExpress.com). Tisztán kerámiából kialakítva a motort olajhelyettesítő, a környezetet nem károsító réstömítő anyag alkalmazásával igen környezetbarát kialakítás érhető el, mivel a magas alkalmazható hőmérséklet az égés minőségére is pozitív hatással van. A második helyen a *Wankel* motornak kellene állnia, amit a kevésbé kiforrott konstrukció még nem igazolt, főként az éltömítések gyakori csereigénye miatt.

4. KONKLÚZIÓ

A cikkben elemeztük az *Otto*, a *Wankel* és a *Dudás-féle* belsőégésű motorok előnyös és hátrányos tulajdonságait, elsődlegesen azzal a céllal, hogy a *Dudás* motor megvalósításához figyelembe vehessük a korábban a másik két motortípussal szerzett tapasztalatokat és egyrészt megítélhessük a kifejlesztéstől várható előnyöket, másrészt szembesüljünk a kifejlesztés ellen szóló tényekkel. Az elemzés kimutatta, hogy a napjainkban legelterjedtebb, környezetvédelmi szempontból megfelelő konstrukció az *Otto* motor erőteljesen továbbfejlesztett és kiegészítő berendezésekkel ellátott verziója. A konstrukciós zsenialitásában azt messze megelőző *Wankel* motor visszaszorulását kismértékben a geometriába kódolt hiányosságok, a kipufogás tökéletlensége, a kipufogógáz keveredése a beszívott keverékkel okozza, erőteljesebben pedig

a csúszó alkatrészek kenésigénye miatti nagy olajfogyasztás és az elégett olajból származó károsanyag kibocsátás felelős érte.

A *Dudás-féle* motor esélyeit a teljesen kerámia kivitel növelné, kihasználva a súrlódásmentességet, de a réstömítéses üzem miatt káros égéstermék nem generáló, kenési szerepet nem, *csak tömítési funkciót* ellátó üzemanyag komponens kifejlesztését kívánja. E mellett a nagy üzemi hőmérsékletnek köszönhető igen magas termikus hatásfokkal és a konstrukcióból eredő extrém nagy fordulatszámmal a szénhidrogének mozgásenergiává alakításának mindenképpen az egyik perspektívája a csak forgó mozgásokat végző motor.

Köszönetnyilvánítás "A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *180 éves lenne a benzinmotor atyja*, <http://www.vezess.hu/hirek/2012/06/12/180-eves-lenne-a-benzinmotor-atyja/>, Utolsó elérés: 2017. 05 25.
- [2] **KINGSHUK, D.:** *Are Two-Stroke Engines Making A Comeback?*, <https://auto.ndtv.com/news/are-two-stroke-engines-making-a-comeback-1672384>, Utolsó elérés: 2017. 05 25.
- [3] **Wikibooks:** *Motoren aus technischer Sicht*, https://de.wikibooks.org/wiki/Motoren_aus_technischer_Sicht/_Druckversion, Utolsó elérés: 2017. 05 25.
- [4] **SCLAR, D.:** *The Pros and Cons of Diesel Engines*, <http://www.dummies.com/home-garden/car-repair/diesel-engines/the-pros-and-cons-of-diesel-engines/>, Utolsó elérés: 2017. 05 25.
- [5] **CICERALE, F. H.:** *Kenne Bell Supercharger Ford Mustang Install – Superbad, Mustang360°*, 2009. <http://www.mustangandfords.com/how-to/engine/mmfp-0903-2004-ford-mustang-kenne-bell-supercharger-install/> Utolsó elérés: 2016. április 1.
- [6] **DUDÁS, L., BIRÓ, M., NOVÁK, L. L.:** *Construction Modeling and Manufacturing Analysis of a New Rotary Combustion Engine*, 20th Jubilee IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2016 INES2016, Budapest 2016 jún. 30-júl. 2. pp.89-94.
- [7] **PERNA, V.:** *Equipment with mutually interacting spiral teeth*, United States patent US 20030012675 A1, 2003.
- [8] **MOINEAU, L. R. J.:** *Gear Mechanism*, United States patent US 1892217 A, 1932.
- [9] **MURROW, K. D., GIFFIN, R. G.:** *Axial Flow Positive Displacement Turbine*, United States patent US 20090226336 A1, 2009.
- [10] **WIEDENHOEFER, J. F., RASHEED, A.:** *Non-contact seal for positive displacement capture device*, United States patent US 20090220369 A1, 2009.
- [11] **DUDÁS, L.:** *Forgódugattyús gép*, Magyar szabadalom HU230082, 2015.
- [12] *NSU Wankel rotary engines and cars*, http://cp_www.tripod.com/rotary/pg05.htm, Utolsó elérés: 2016.04 02.
- [13] *Der Wankelmotor und sein Erfinder*, <http://www.nsu80.ch/das-auto/der-motor/>, Utolsó elérés: 2016.04 10.

ZENEI HANGOK SZÁMÍTÓGÉPES FELISMERÉSI MÓDSZEREI

MUSICAL NOTE RECOGNITION METHODS BY COMPUTER

ERDŐSY Dániel¹, TÓTH Lajos²

¹tanszéki mérnök, elkedani@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

²Ph.D., egyetemi docens, elklll@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: A zenei hangok számítógépes felismerése számtalan lehetőséget nyújt. A zeneszerzők, zenészek ezzel a módszerrel könnyedén le tudják kottázni az adott zeneművet. Felhasználható a zeneoktatásban vagy megfelelő kialakítás esetén a zene a hallássérültek vagy mások számára is vizuális élménnyé alakítható. A publikációban összegyűjtése, bemutatása, összehasonlítása kerülnek a zenei hangok felismerésének leghatékonyabb módszerei.

Kulcsszavak: zenei hangok felismerése, hangfelismerés, zenei analízis, felismerő algoritmusok

Abstract: Computer recognition of music sounds offers countless opportunities. Composers and musicians can easily transcribe the music by this method. It can be used in music education or in case of a proper visualisation method, music can be converted into a visual experience for the hearing impaired or the others. The collection, investigation, and comparison of the most effective methods of recognizing musical sounds are presented.

Keywords: musical note recognition, note detection, musical analysis, detection methods

1. BEVEZETÉS

Napjaink kompjuterizált világában számtalan alkalmazási területe van a mesterséges intelligencia alkalmazásainak. A kép, beszéd vagy hangfelismerés mind az ipari környezetben, mind a köznapi életben, de nem utolsósorban a szórakoztatóelektronikai területen nyert alkalmazást. Képfelismerési eljárásokat alkalmaznak a VÉDA rendszerben rendszámok és gépjármű vezetési szokások felismerésére. A mai mobiltelefonok képesek arc és beszéd felismerésére. A televízióadás valós idejű feliratozása beszéd felismerési módszeren alapul. Hasonlóan érdekes alkalmazási terület a zenei hangok számítógépes felismerése.

Az interneten hozzáférhetők olyan kereskedelmi szoftverek, amelyek képesek egy hangfájlból előállítani a lejátszott zenemű kottáját [1,2,3,4]. Ezen termékek gyártói viszont érthető okokból nagyon kevés információt közölnek a szoftverük működési elvéről. Jelen munka célja a zenei hangok számítógépes felismerési módszereinek vizsgálata. Megvizsgáljuk a zene-felismerésre használható módszereket. Összehasonlítjuk őket megvalósíthatóság, alkalmazhatóság és futási sebesség szempontjából.

2. A FELISMERÉSI MÓDSZEREK BEMUTATÁSA, ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A jelfeldolgozás tudományterülete számos olyan algoritmust használ, melyek alkalmasak időben változó mennyiségek paramétereinek meghatározására. A zenei hangok olyan jelek melyeknek amplitúdója és frekvenciája az időben változik. Rengeteg erre a célra használható módszer létezik. Ezeknek egy részét az [5] szakirodalom ismerteti. A dolgozatban ezek közül a módszerek közül kiválasztottuk a leghatásosabbakat és tesztprogramok implementálásával és futtatásával összehasonlítottuk őket. A tesztprogramokhoz több, a számítógép hangkártyája által felvett minta hangokat használtunk, ezzel is biztosítva az összehasonlíthatóság stabil

alapját. A módszerek kimeneti pontosságának ellenőrzésére egyszerű szöveges megjelenítést, valamint grafikus megjelenítést használtunk. A program szöveges formában megjeleníti a felismert hangokat, valamint kijelzi a jel spektrumát a felismert frekvenciákkal. A megvalósított algoritmusokban igyekeztünk hasonló megjelenítési elemeket használni, ezzel is kiszűrve az eltérő programozási módszerekből adódó eltéréseket. Minden program 5-ször futott le egymás után. A különböző futási időkből legjobb, legrosszabb, valamint átlag idő lett számolva.

A zenei hangok frekvenciákhoz történő hozzárendelése az úgynevezett hangjegy-frekvencia táblázat alapján történt (1. Táblázat). Ebben a táblázatban az általunk használt zenei hangok jelölése is jól látható. Az eltérő hangolásból adódó pontatlanság kiküszöbölésére a kereséskor egy $\pm 2,74$ %-os tűrést engedtünk meg. A tesztek alapján az érték megfelelőnek bizonyult, mivel nem történt hangtévesztés.

1. Táblázat Hangjegy - Frekvencia táblázat [6]

Hang	Hz	Hang	Hz	Hang	Hz	Hang	Hz	Hang	Hz	Hang	Hz	Hang	Hz
C1	32.7	C2	65.4	C3	130.3	C4	261.6	C5	523.3	C6	1046.5	C7	2093.0
C#1	34.6	C#2	69.3	C#3	133.6	C#4	277.2	C#5	554.4	C#S	1103.7	C#7	2217.5
D1	36.7	D2	73.4	D3	146.3	D4	293.7	D5	537.3	D6	1174.7	D7	2349.3
D#1	33.9	D#2	77.3	D#3	155.6	D#4	311.1	D#5	622.3	D#S	1244.5	D#7	2439.0
E1	41.2	E2	82.4	E3	164.3	E4	329.6	E5	659.3	E6	1313.5	E7	2637.0
F1	43.7	F2	87.3	F3	174.6	F4	349.2	F5	693.5	F6	1396.9	F7	2793.3
F#1	46.2	F#2	92.5	F#3	135.0	F#4	370.0	F#5	740.0	F#S	1430.0	F#7	2960.0
G1	49.0	G2	98.0	G3	196.0	G4	392.0	G5	784.0	G6	1563.0	G7	3136.0
G#1	51.9	G#2	103.3	G#3	207.7	G#4	415.3	G#5	830.6	G#S	1661.2	G#7	3322.4
A1	55.0	A2	110.0	A3	220.0	A4	440.0	A5	880.0	A6	1760.0	A7	3520.0
A#1	53.3	A#2	116.5	A#3	233.1	A#4	466.2	A#5	932.3	A#6	1864.7	A#7	3729.3
B1	61.7	B2	123.5	B3	246.9	B4	493.9	B5	987.3	B6	1975.5	B7	3951.1

A táblázatból kiolvasható, hogy a legmagasabb B7-es hang 3951.1 Hz frekvenciájú.

$$f_{\text{mintavételi}} > 2 * f_{\text{max}} \quad (1)$$

ahol:

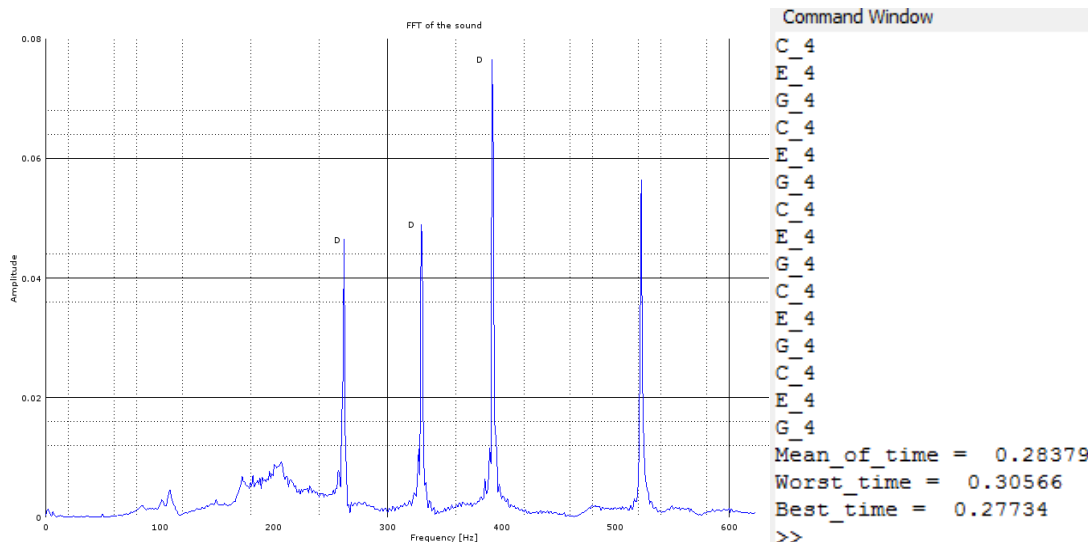
f_{max} a jelben előforduló maximális frekvenciájú összetevő

A Nyquist-Shannon mintavételezési törvény alapján (1), elegendő lenne a 8 kHz-es mintavételi frekvencia alkalmazása [7]. Azonban, korunk gyors eszközei, programozási lehetőségei számára ennél nagyobb mintavételezési frekvencia használata sem jelent időbeli hátrányt. A pontosság javítása érdekében ettől nagyobb mintavételezési frekvenciát használtunk.

2.1. Az alap tesztprogram

Az algoritmusokat az Octave [8] nevű magas szintű matematikai programozási nyelv segítségével valósítottuk meg. Az alap tesztprogram az összehasonlíthatóság alapjául szolgál. A hangfelismerés módszere ebben az esetben FFT alkalmazása a beolvasott fájlra. A program második lépésben a spektrumban található maximumok kikeresésével megadja a futás eredményét. Ennél a módszernél tökéletesítésre került a többi módszernél is felhasználásra kerülő kereső algoritmus.

A tesztprogrammal egy gitár által játszott C-dúr harmónia mintavételezett jelét (guitarC4_E4_G4_C5.wav) dolgoztattuk fel. A futás eredménye az 1. ábrán látható.



1. ábra. A tesztprogram kimeneti grafikonja és a szöveges eredmények

A diagramon jól látható, hogy az FFT analízis megtalálja a különböző harmonikusakat. Az elemzést nem az egész frekvencia tartományra végezte el a program, így az alaphangok felharmonikusai már nem látszódnak. Az eredményeket megvizsgálva megállapítható, hogy a program már nem észlelte a C5 hangot. Ez a hiba a csúcsértékeket kereső függvény nem megfelelő beállításából adódott. Ebből az egyszerű tesztből pontosan látszik, hogy milyen probléma jelentkezik összetett zenei hangok analízálása esetén. A megszólaló C5 hang valós alap harmonikus és nem egyszerűen csak a C4 hang felharmonikusa. A fejlettebb analízis módszerek pont ezt a problémát próbálják kiküszöbölni.

2.2. Nullátmenet módszere

A módszer lényege, hogy megszámláljuk a jelben előforduló nulla átmenetek számát [9,10]. Elvben megfelelő mintavételezéssel egy egyszerű periodikus jel frekvenciája meghatározható ezzel a módszerrel. Viszont egy összetett jelnél, ami tele van felharmonikusokkal, gyakorlatilag nem lehet visszafejteni a jelet alkotó különböző frekvenciákat. A nullátmenet módszer teszteredményei:

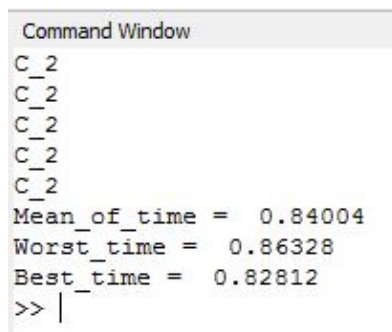
```
G#7
B_2
G_1
D#5
F_3
Mean_of_time = 0.14434
Worst_time = 0.15137
Best_time = 0.14062
>>
```

1. ábra - Nullátmenet módszer szöveges eredménye

A 2. ábrán jól látható, hogy a tesztprogram teljesen rossz eredményeket adott. Egyetlen előnye, hogy ez a legkisebb számítási igényű algoritmus. Ezért ez az alap tesztprogramhoz képest hamarabb lefutott. A továbbiakban ezt a módszert nem fogjuk használni, mert a célként definiált követelmények vizsgálatára nem felel meg.

2.3. Autokorreláció módszere

A módszer azon alapul, hogy egy periodikus jel egyetlen periódusa hasonlít a mellette lévő jel periódusára [11]. A jel időbeli eltolásával az eredeti és az eltolt jel különbsége meghatározza az alap harmonikust. Az autokorreláció elvégzése és annak deriválása után a kapott jelben a minimumok helye alapján lehet az alap harmonikust meghatározni. A tesztprogramot először egy C2 hangot tartalmazó zongora tesztfájllal próbáltuk ki.



```
Command Window
C_2
C_2
C_2
C_2
C_2
Mean_of_time = 0.84004
Worst_time = 0.86328
Best_time = 0.82812
>> |
```

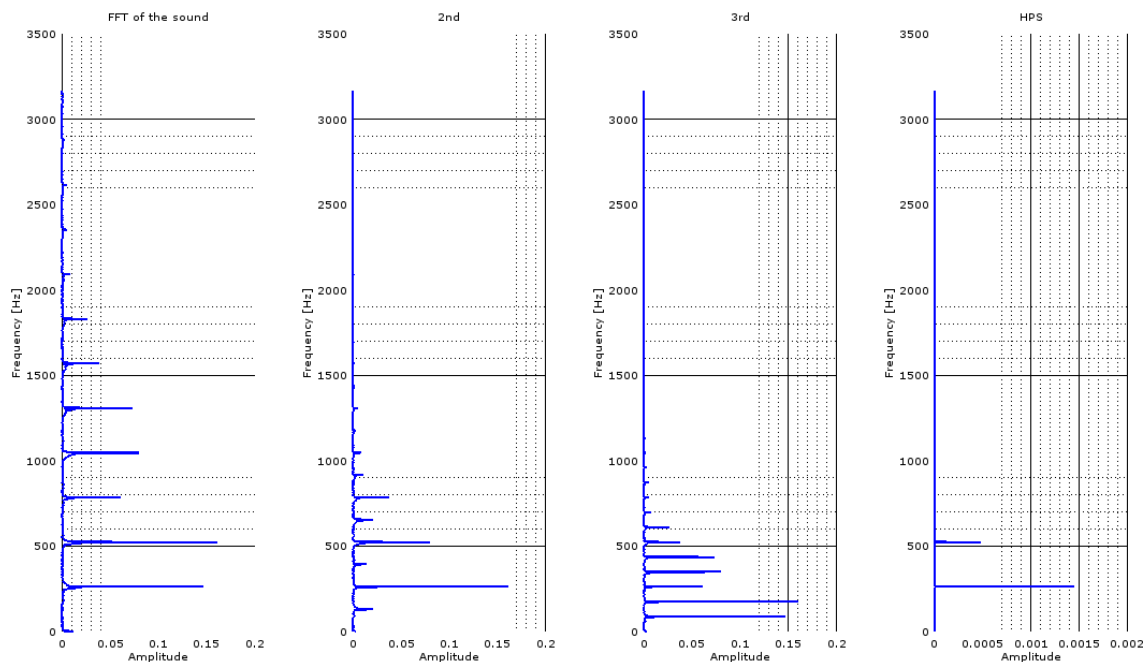
2. ábra A megtalált hangok és a futásidő

A 3. ábrán a megtalált zenei hangok is olvashatók. Ezek alapján erre az egyszerű hangra a módszer jól működött. A futásidő még elfogadható. A nagyobb probléma itt is az összetett hangokkal van, mert az autokorreláció inkább egy adott frekvencia megkeresésére, nem pedig ismeretlen frekvenciák megkeresésére való.

2.4. Harmonikus szorzat spektrum (HPS)

A módszer lényege, hogy az alap jelet többször újrámintavételezzük, majd ezeket a jeleket összeszorozva a felharmonikusok nagy része kiszűrhető. [11]

A módszer egyszerű programozhatóságának köszönhetően többféle változat kipróbálását is könnyedén meg lehetett valósítani. Az egyik teszt során a jelet 3-szor minta vételeztük újra és a kapott jeleket összeszoroztuk egymással. Ezen teszt során egy C4-es trombita hang volt a bemeneti hang. A teszteredmények az alábbiak lettek:



3. ábra HPS módszer teszteredményei, két alul mintavételezett jellel és szorzással

A 4. ábrán jól látható, ahogyan a spektrumot „összetömörítette” a módszer. A segédvonalak segítségével könnyedén nyomon követhető, amint a felharmonikusok a hozzájuk tartozó alap harmonikussal egy vonalba kerültek az újra mintavételezések hatására. A 4. ábrán jól látható, ahogy a felharmonikusok szinte teljesen eltűntek. Az apró zajokat is nagyon szépen kiszűrte az algoritmus, ami miatt az eredmény teljesen elfogadható. A grafikus eredmények mellett kijelzett szöveges eredményeket az 5. ábra mutatja.

```
Command Window
C_4
C_5
C_4
C_5
C_4
C_5
C_4
C_5
C_4
C_5
C_4
C_5
Mean_of_time = 0.67500
Worst_time = 0.82812
Best_time = 0.62207
>> |
```

4. ábra HPS módszer szöveges teszteredményei

2.5. Párhuzamosan kapcsolt fésű szűrők

A párhuzamosan kapcsolt fésű szűrők módszere azon az elven alapul, hogy egy megfelelően tervezett szűrő ott fogja a jelet leginkább csillapítani, ahol a jel és a szűrő frekvenciája megegyezik. Ha sok ilyen szűrőt egymás mellé helyezünk, elvben tetszőleges frekvencia felbontás lehetséges. A szűrők megfelelő hangolásával el lehet érni, hogy egy-egy szűrő a frekvenciájának megfelelő egy-egy zenei hangot csillapítson a jelből. Ezeket a helyeket érzékelni lehet, melyek a „megtalált” hangokat jelentik [12, 13].

2.6. Cepstrum

A cepstrum módszer egy matematikailag egyszerű módszer, amely használható beszéd elemzésre, hangfelismerésre. A módszer a spektrumban található periodicitások (ismétlődések) kimutatásához nyújt segítséget [14]. Az eljárás igazából mind a frekvencia, mind pedig az időtartományban is dolgozik. Az algoritmus lényege, hogy a bemeneti jel valós Fourier transzformáltjának vesszük a négyzetét, annak a 10-es alapú logaritmusát és végül annak az inverz Fourier transzformáltját. A cepstrum névhez hasonlóan a végeredménye egy független változó quefrencia, valamint az értékei a rahmonikusok [15].

Bár a szakirodalmak szerint a cepstrum segítségével lehetséges hangfelismerést elvégezni, de jelen célunk nem felelt meg. A program viszonylag gyorsan lefutott, a diagramok jellege hasonló az irodalmakban látható grafikonok jellegéhez.

2.7. Hallás modellezése

A hallás modellezése szó szerint az emberi hallás modellezésén alapul [16] Az eljárás megvalósítása rendkívül bonyolult. Az élőlények hallása egy biológiai folyamat, ennek a programba történő átültetése még bonyolultabb. Nem véletlen, hogy a WIV LLC által létrehozott program működéséről [17] is nagyon kevés információt található. A hallás modellezéssel működő hangfelismerő program megalkotása túlmutat a jelen publikáció célkitűzésein.

3. ÖSSZEFOGLALÓ TÁBLÁZAT A TESZTEREDMÉNYEK ALAPJÁN

A 2. táblázatban összefoglaljuk a tesztek során kapott eredményeket megvalósíthatóság, pontosság, valamint a legjobb futásidő szerint.

2. Táblázat Összefoglaló táblázat a teszteredmények alapján

Módszer	Megvalósíthatóság	Pontosság	Legjobb futásidő
Alap tesztprogram	Közepes	Jó	0,27 s
Nullátmenet	Könnyű	Rossz	0,14 s
Autokorreláció	Közepes	Rossz	0,82 s
Harmonikus szorzat spektrum	Könnyű	Jó	0,47 – 0,62 s
Párhuzamosan kapcsolt fésű szűrők	Octave-ban nehéz	–	–
Cepstrum	Közepes	–	0,98 s
Hallás modellezése	Nehéz	–	–

A 2. táblázat alapján a különböző módszerekkel elért eredmények jól összehasonlíthatók. A leggyorsabb módszernek a nullátmenet módszere bizonyult, azonban ez a módszer csak egyszerű hang felismerésre felel meg. A pontossága éppen ezért nem megfelelő. A két legjobb eredményt hozó módszer az alap tesztprogram, valamint a harmonikus szorzat spektrum. A kettő közül az alap tesztprogram bizonyult gyorsabbnak, ami érthető is, hiszen a harmonikus szorzat spektrum több matematikai műveletet igényel. Az autokorreláció a nullátmenet módszerhez hasonlóan csak egyszerű hangok felismerésére használható. A futási ráadásul eléggé hosszú. A cepstrum módszer esetében ugyan a futás idő a rendelkezésünkre áll, de miután lényegi információval nem szolgált az eredménye, így a pontossága nem értelmezhető.

A maradék két módszert, a fésű szűrőket, valamint a hallás modellezését a megvalósítás bonyolultsága miatt nem implementáltuk.

4. FUTÁS IDŐ CSÖKKENTÉSE

A tesztek készítése során nem egyetlen számítógépet használtunk. Ennek köszönhetően azt tapasztaltuk, hogy a számítógép belső felépítése természetesen jelentősen befolyásolja a program lefutásának sebességét. Több módszer esetében matematikai úton és programozás technikailag is gyorsítható az algoritmus. Megvizsgáltuk, hogy a számítógép belső felépítése hogyan befolyásolja az elérhető sebességet. Összehasonlítottuk a futási időket két különböző számítógépen futtatva ugyanazokat a tesztprogramokat és tesztfájlokat használva. A számítógépek konfigurációi a következők voltak:

1. számítógép:

- CPU: Mobile DualCore Intel Core 2 T7500, 2200 MHz
- RAM: DDR2 SDRAM, 667 MHz, 2*2 GB (3 GB használható)
- Alaplap: SiS M7x0S
- Videókártya: SiS Mirage 3 Integrated
- Operációs rendszer: MS Windows 7 Professional

2. számítógép:

- CPU: OctalCore AMD FX-8320, 3,7 GHz
- RAM: DDR3 SDRAM, 1333 MHz, 2*4 GB
- Alaplap: Gigabyte GA-78LMT-USB3 v5
- Videókártya: AMD Radeon HD 5450
- Operációs rendszer: MS Windows 8 Professional (Windows 10)

3. Táblázat Futási idők összehasonlítása a két számítógép között

Módszer	1. számítógép		2. számítógép	
	Legjobb idő [s]	Legrosszabb idő [s]	Legjobb idő [s]	Legrosszabb idő [s]
Alap tesztprogram	0,27	0,31	0,14	0,15
Nullátmenet	0,14	0,15	0,074	0,083
Autokorreláció	0,82	0,86	0,3	0,5
Harmonikus szorzat spektrum	0,62	0,82	0,27	0,46
Cepstrum	0,98	1,04	0,5	0,69

A 3. táblázat alapján jól látszik, hogy a modernebb, gyorsabb számítógép használata radikálisan csökkentette a futásidőket. A legtöbb esetben több mint 50 %-os volt a futás idő csökkenése. Ez a tény további lehetőségeket ad a fejlesztésre, hiszen a gyorsabb műveletvégzés alatt még több matematikai műveletet lehet végeztetni a programmal, anélkül, hogy az a kívánt működési sebességet számottevően befolyásolná. Nagy valószínűséggel a sebességnövekedés jelentős részét a két processzor közötti teljesítménykülönbség okozta. Továbbá megvizsgáltuk az 1. számítógép esetében a futási időket akkor, amikor a laptop akkumulátorról

üzemelt. Akkumulátor használata esetén a processzor maximális teljesítménye 20 %-kal van csökkentve a hálózati táplálásról történő működéshez képest. Már ez a 20 %-os sebességcsökkentés is látható volt a futás időközön.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen munkában az elméleti leírás, valamint a megvalósított tesztprogramok részletes leírása helyett az eredmények kiértékelése, összegyűjtése kapott fő szerepet. Az Octave-ban megírt tesztprogramokat előre rögzített teszthangok segítségével hasonlítottuk össze. A módszerek elemzésénél kitértünk az esetleges hibákra, azok javítási lehetőségeire és a működés felgyorsítására. Ezek után a megvalósított programokat két különböző számítógépen is teszteltük és megvizsgáltuk a futási idő csökkentésének lehetőségeit.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TwelveKeys Music Transcription Software**, <http://www.nch.com.au/twelvekeys/index.html>
- [2] **AnthemScore, Automatic Music Transcription Software**, <https://www.lunaverus.com/home>
- [3] **Song Surgeon**, <http://www.songsurgeon.com/>
- [4] **Sibelius**, <http://www.avid.com/sibelius>
- [5] **MCLEOD P.**, *Fast, Accurate Pitch Detection Tools for Music Analysis*, PhD thesis, p. 191, 2008.
- [6] **FRANÇOIS G.**, *Guitar Pitch Shifter*, <http://guitarpitchshifter.com/>
- [7] **CSÁKÁNY A., BAGOLY ZS.**, *Jelfeldolgozás*, Egyetemi jegyzet, <http://itl7.elte.hu/jelfel/index.htm>
- [8] **EATON, J. W.**, *GNU Octave*, <https://www.gnu.org/software/octave/about.html>
- [9] **WIKIPEDIA**, *Pitch detection algorithm*, https://en.wikipedia.org/wiki/Pitch_detection_algorithm
- [10] **CCRMA**, *Pitch Detection Methods Review*, Center for Computer Research in Music and Acoustics
- [11] **GARETH M.**, *Pitch Detection Algorithms*, 2003., DOI 8b900091-908f-42ad-b93d-806415434b46@2
- [12] **TADOKORO Y., MORITA T., YAMAGUCHI M.**, *Pitch detection of musical sounds noticing minimum output of parallel connected comb filters*, TENCON 2003. Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region, p. 4, 2003., DOI 10.1109/TENCON.2003.1273349
- [13] **GAINZA M., LAWLOR R., COYLE E.**, *Multi Pitch Estimation by using IIR Comb Filters*, International Symposium focused on Multimedia Systems and Applications, p. 3–7, 2005., ISSN 13342630
- [14] **GREGLOCOCK**, *Octave derived cepstrum analysis of a pulse train*, Wikipedia, 2012., <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=37508615>
- [15] **WIKIPEDIA**, *Cepstrum*, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Cepstrum>
- [16] **LICKLIDER J. C. R.**, *A Duplex Theory of Pitch Perception*, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 23, no. 1, p. 147–147, 1951., DOI 10.1121/1.1917296, ISSN 0001-4966
- [17] **CHRIS S., JOHN B. K., KATARINA B., ALBERT D.**, *Time domain signal processing research and development*, <http://wivllc.com>

AZ ELLÁTÁSILÁNC-KOORDINÁCIÓHOZ KAPCSOLÓDÓ STRATÉGIAI DÖNTÉSTÁMOGATÁSI TERÜLETEK

STRATEGIC DECISION SUPPORT AREAS CONNECTED TO SUPPLY CHAIN CO-ORDINATION

FALUDI Tamás¹, MOLNÁR Viktor²

¹üzemeltetési referens, faludi.tamas09@gmail.com

¹B-A-Z Megyei Kormányhivatal

²egyetemi docens, szvmv@uni-miskolc.hu

²Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A cikk az ellátásilánc-koordináció és azon belül is a különféle szerződéstípusok jellemzőinek összegyűjtésén túl összefoglalja a legfrissebb releváns szakirodalmi megállapításokat a koordinációs mechanizmusokat befolyásoló tényezők tekintetében. A szakirodalmi háttér strukturált felépítését követően a cikk bemutat egy olyan döntéstámogató keretmodellt, amely segíti a döntéshozókat a megfelelő szerződéstípus kiválasztásában az ellátásilánc tagokkal való együttműködés kezdetén.

Kulcsszavak: SCM, ellátásilánc-koordináció, szerződéstípusok

Abstract: In the paper the characteristics of the supply chain co-ordination and within that the different contract types are collected. Beyond that the latest relevant statements of the literature are summarised considering the influencing factors of co-ordination mechanisms. After the structured literature review and analysis a decision-making framework is introduced which is applicable in choosing the most suitable contract type when supply chain members start to co-operate with each other.

Keywords: SCM, supply chain co-ordination, contract types

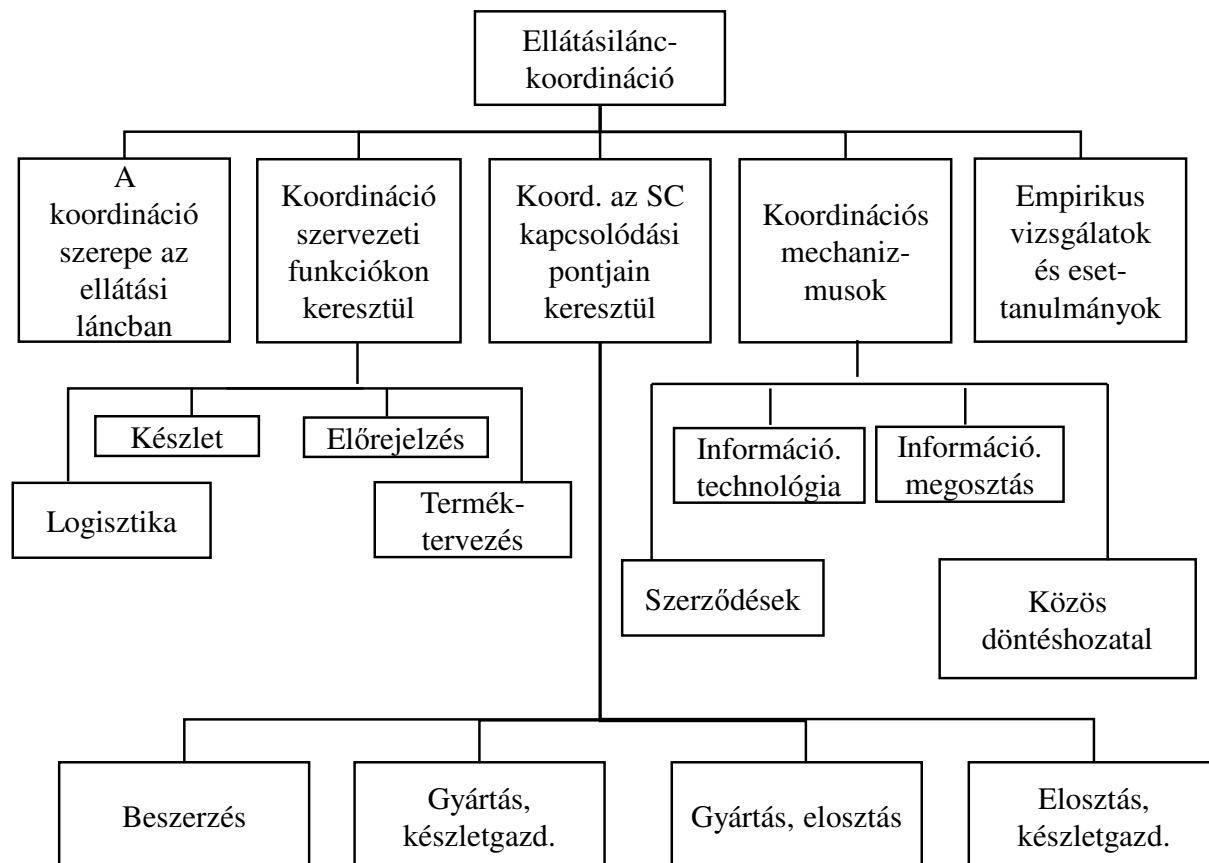
1. BEVEZETÉS

A szervezetek – legyenek akár multinacionális vállalatok vagy kis- és középvállalkozások – a legtöbb esetben nem mint különálló egységek vannak jelen a piacon, hanem működésüket nagymértékben meghatározza az a tény, hogy ellátási lánc tagjaként vannak jelen az üzleti életben. A lánc tagok sokszor együttesen tervezik az erőforrásaik felhasználását. Az ellátásilánc szemléletet magukénak tudó vállalkozások, illetve intézmények elsődleges célja a teljes lánc, de legalább annak egy részének együttes menedzselése, azaz egyidejűleg több szervezet profitjának maximalizálása. Egy ellátási lánc beszállítók, gyártók, raktárak, elosztó központok és kiskereskedők egy széles (nemzeti vagy globális) hálózata, melyen keresztül nyersanyagok beszerzése, átalakítása és vevőkhöz történő eljuttatása valósul meg. Az ellátásilánc-menedzsment a gyártás és a logisztika autonóm döntéshozói közötti koordinációval foglalkozik [1].

A maximális profit elérése érdekében számos lehetőség áll a döntéshozók rendelkezésére, azonban kiemelendő, hogy végső soron a tagok közötti rendelési mennyiség és/vagy a termékek vagy szolgáltatások ellenértéke képezi az optimalizálás fő változóit. Az optimalizálás vagy az optimumhoz közeli állapot elérése koordinációs mechanizmusok segítségével érhető el. Ennek keretében többek között beszélhetünk a tagok közötti kockázat-megosztásról, vagy éppen a felek számára megfelelő szerződések létrehozásáról.

Az ellátási láncban belül a szállító vagy a vevő vezető pozícióban lehet, ami a tagok döntéshozatali mechanizmusát is befolyásolja. Amennyiben a szállító van vezető pozícióban,

az aluláraz, míg a vevő többet rendel a szükségesnél. Ha a vevő a domináns a láncban, akkor pedig az kér kisebb összeget, míg a szállító a szükségesnél többet állít elő. Ebből adódóan mind a stratégiákat, mind az ellátási bizonytalanságot egymással ellentétes célok fogják befolyásolni. Mindemellett a cégek elsősorban saját profitérdekeikre fókuszálnak, és nem feltétlenül szerepel nagy súllyal az érdekek között ezeknek a céloknak a kiegyensúlyozása. Ennek a problémának a megoldására születtek meg a különféle szerződéstípusok. Ez a megoldás egyre inkább relevánssá válik, amikor az ellátási láncok egymás közötti versenye felváltja a cégek versengését. [2]. Az 1. ábra az ellátásilánc-koordináció típusait foglalja össze. A koordinációs mechanizmusok csoportjába tartoznak a szerződéstípusok.



1. ábra. Az ellátásilánc-koordináció típusai [3]

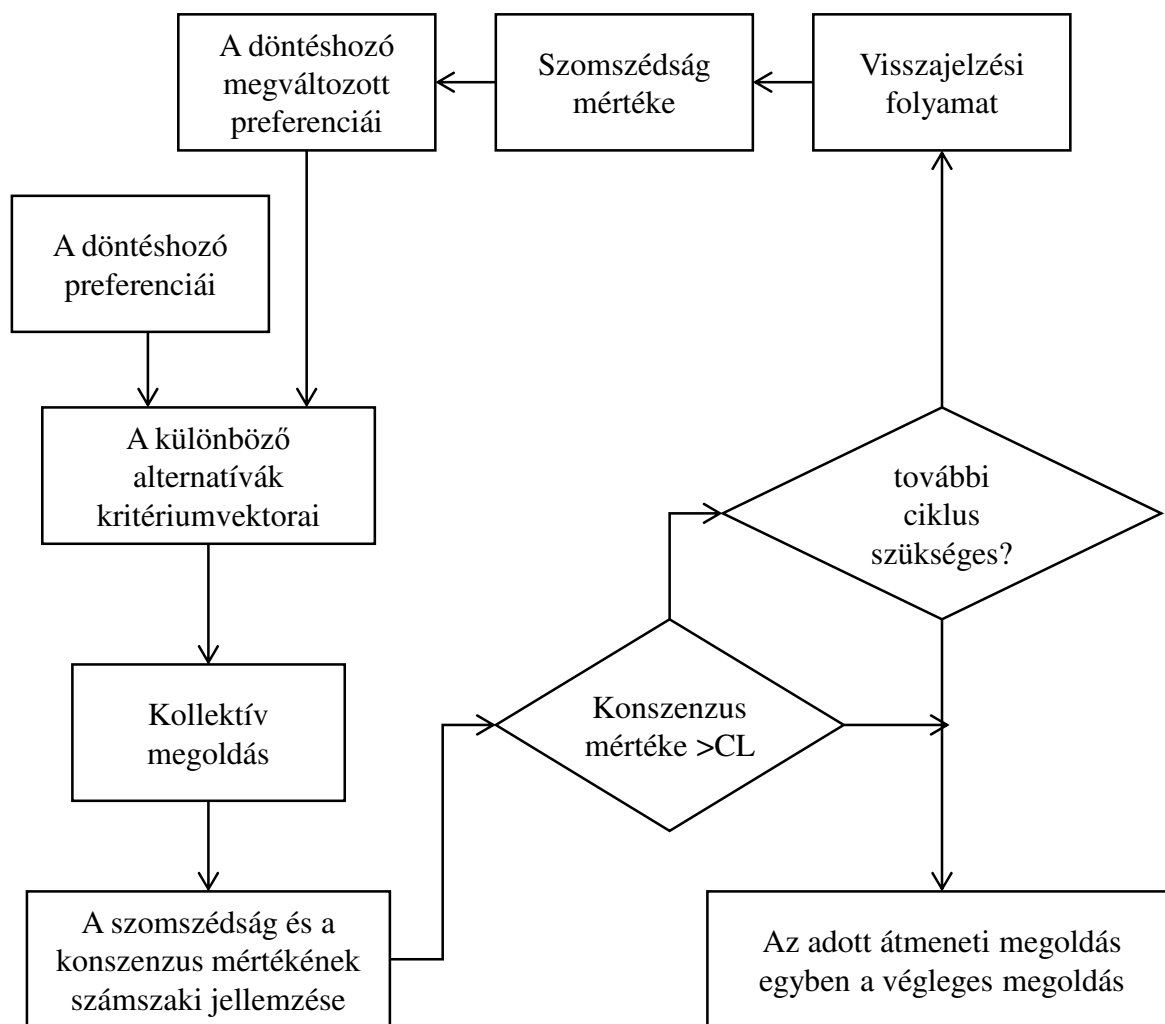
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Tárgyalási forgatókönyvek

A kooperatív tárgyalási forgatókönyv lényege, hogy a tárgyaló felek koalíciót alkotnak annak érdekében, hogy maximalizálják a teljes lánc profitját. A nem kooperatív tárgyalási forgatókönyv lényege pedig az, hogy a tárgyaló felek egymástól függetlenül optimalizálják a működésüket, de emellett figyelembe veszik a megállapodás tárgyát képező változókat egy adott tervezési időszakra vonatkozóan [4].

A 2. ábra egy iteratív döntéshozatali folyamatot mutat be. A kollektív döntéshozatal az ellátásilánc-koordináción belül egy dinamikus és iteratív folyamat, amit egy moderátor

koordinál. A moderátor segíti a szakértőket és a döntéshozókat abban, hogy a véleményeik egymáshoz közelítsenek, és hogy elérjék a konszenzus kívánt szintjét.

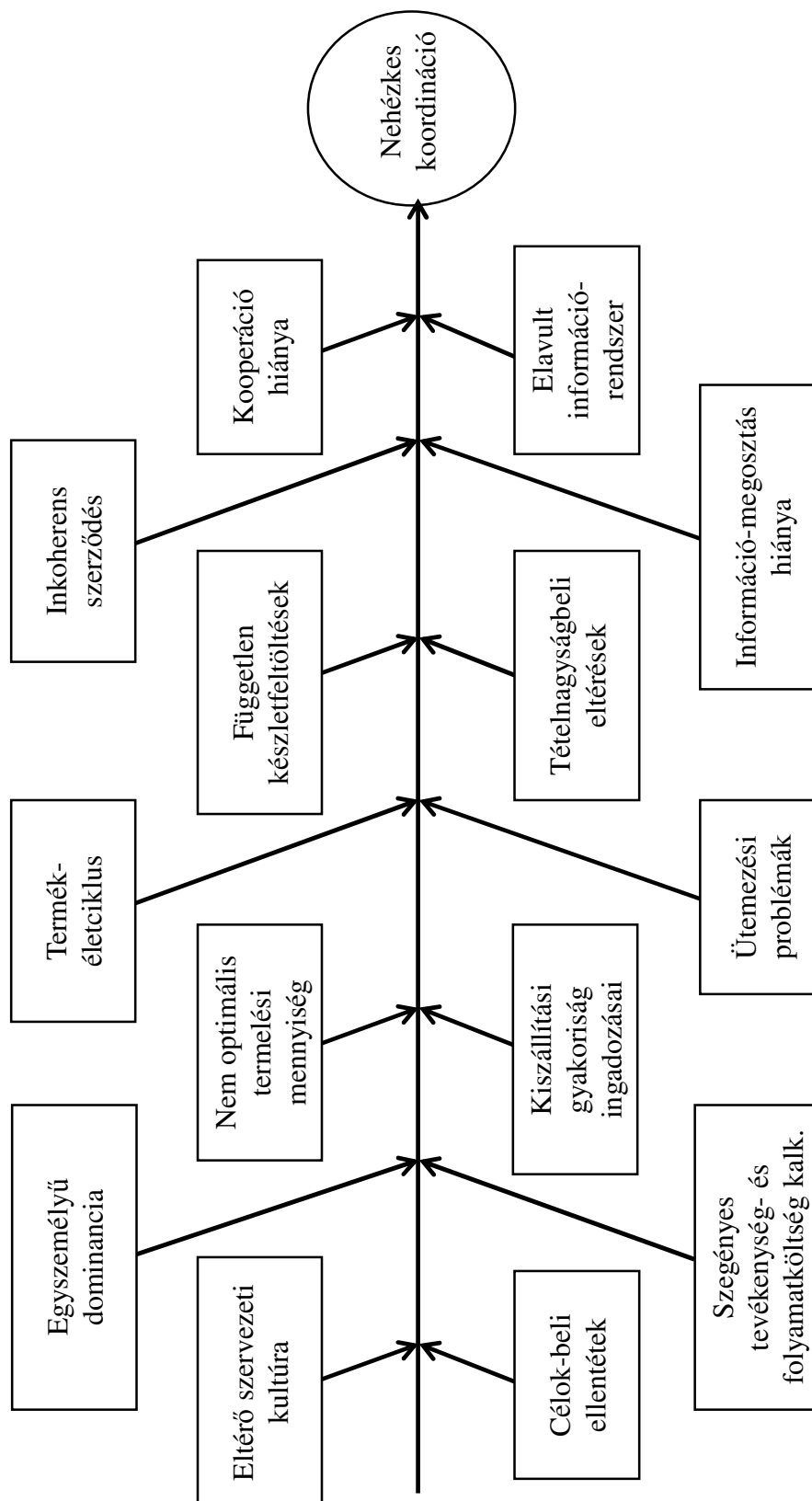


2. ábra. Iteratív tárgyalási folyamat [1]

Több publikáció beszámol tárgyalási algoritmusokról és folyamatokról. Egy cikk – abból a tényből kiindulva, hogy egy folyamatban lévő üzleti kapcsolat mindkét fél profitabilitására hatással van – bemutat egy tárgyalás-alapú algoritmust, ami segíti a vevőt abban, hogy fokozatosan javítsa a szállítóival való kapcsolatának minőségét [5].

2.2. Társadalmi hatások

A fogyasztói beszerzési döntéseket jelentős mértékben befolyásolhatják az online kiskereskedelmi szolgáltatások, csakúgy mint a gyors kiszállítás vagy az ajándécsomagok. Ennél azonban jóval fontosabb, hogy az online kiskereskedelmi szolgáltatások a különböző fogyasztói csoportok között testre szabhatók.



3. ábra. A koordinációt gátló tényezők [3]

„Ennek a jelenségnek megfelelően nagy kihívás lehet a fogyasztói csoportok szegmentálása a téglá és a malter kereskedelemben, azonban ez már nem kihívás az online kereskedelem korában. Az online platformok, a fogyasztói csoportok automatikusan detektálhatók a fejlett információs rendszerek által” [6].

2.3. A minőségromlás hatása

A kiskereskedők elsősorban stratégiai szemléletben foglalkozhatnak a készletgazdálkodás kérdésével ahhoz, hogy a szállítókat alacsonyabb nagykereskedelmi ár kiszabására ösztönözzék. A stratégiai készletgazdálkodás korábbi szakirodalma azt feltételezte, hogy a termékek egyik periódusról a másikra történő átvitele az újonnan termelt egységek tökéletes helyettesítői, azonban napjaink gyakorlatában a termékek minőségi avulása és meghatározó szerepének figyelembe vétele szükséges. Ezért a tárolt termékek vertikális differenciálása is szükséges. A minőségromlás hatással van a szállító és a vevő közötti interakcióra, mert az korlátozza a vevő stratégiai készletgazdálkodásának lehetőségeit [7].

2.4. A koordináció nehézségei

Az ellátáslánc-koordináció mint széles körben vizsgált terület azért problémás, mert megannyi befolyásoló tényező együttes hatására fog kialakulni minden egyedi esetben a koordináció megfelelő vagy nem megfelelő mivolta. Amennyiben arra szeretnénk kísérletet tenni, hogy optimális vagy optimumközeli koordinációs eredményességet érjünk el, egy többtényezős, dinamikus döntési problémával állunk szemben. Ennek a bonyolultsága miatt a gyakorlatban egy-egy akció alkalmával csak egy vagy néhány befolyásoló tényező fejlesztésére törekszenek a döntéshozók. A 3. ábra a befolyásoló tényezők egy lehetséges csoportosítását foglalja össze.

3. A FŐBB SZERZŐDÉSTÍPUSOK JELLEMZÉSE

Az alábbiakban áttekintjük a főbb szerződéstípusok jellemzőit és korlátait és lehetőségeit. A fejezet [2] felhasználásával került összeállításra.

3.1. Árbevétel-megosztási szerződés

Az árbevétel-megosztási szerződés esetén a tagok megállapodnak abban, hogy a szállító alacsonyabb árat határoz meg, mint amekkora a határköltsége, de cserébe megkapja a vevő árbevételének egy fix százalékát. Megállapítást nyert, hogy a magas nagykereskedelmi ár a fő oka a vevő rendelési mennyisége korlátozásának. Ezáltal a szállító nagykereskedelmi árának csökkentése a vevőt magasabb mennyiség rendelésére fogja ösztönözni. Ennek a logikának a mentén alakult ki az árbevétel-megosztási szerződés, ami a vevőt arra ösztönzi, hogy többet rendeljen alacsonyabb áron, miközben megvédi a szállítót azzal, hogy a vevő árbevételének egy részét megkapja. Az árbevétel-megosztási szerződés alkalmazása egy kettőnél többtagú láncban arra hívja fel a figyelmet, hogy ez a szerződéstípus garantálja a lánc koordinációját.

3.2. Nagykereskedelmi árszabás

Nagykereskedelmi árszabás esetén a gyártó határozza meg az árat a rendelt mennyiség figyelembevételével. Bár ezt a típust használják számos ellátási láncban annak egyszerűsége miatt, nem koordinálja a láncot, mivel ennek a szerződésnek az alkalmazása a kettős

marginalizáció problémájához vezet. Ugyanakkor ez a szerződés képes lehet koordinációra, amennyiben visszavásárlási kedvezménnyel egészül ki. Az e szerződéstípus mellett működő láncok maximalizálhatják a teljes ellátásilánc-profitot azzal, hogy a nagykereskedelmi árat a termelési költséggel teszik egyenlővé. Ez azt jelenti, hogy mind a kiskereskedő, mind a teljes lánc profitja maximális, azonban a gyártónak zérus a profitja. A nagykereskedelmi ár növelése esetén magasabb profitra tesz szert a gyártó, azonban a teljes lánc profitja csökkenni fog. Így tehát azok az ellátási láncok, amelyek ezt a szerződéstípust alkalmazzák, csak akkor tesznek szert profitmaximumra, ha a gyártó a fedezeti ponton működik.

3.3. Mennyiségi kedvezmény

A mennyiségi kedvezmény alkalmazása olyan megállapodást jelent, amelyben a vevő nagyobb mennyiség esetén árkedvezményt kap azonos költség mellett, ezáltal profitnövekményre tesz szert. Így mindkét szervezetnek érdeke fűződik a szerződéstípus alkalmazásához, mert a vevő kedvezményt kap, a gyártó pedig nagyobb mennyiséget értékesíthet.

3.4. Rugalmas mennyiség melletti szerződés

Ez a típus egy olyan megállapodást takar, melyben a vevő egy bizonyos százalékkal alacsonyabb mennyiséget vásárol az előrejelzett mennyiséghez képest, midőn a szállító garantálja, hogy leszállít egy bizonyos mennyiséget az előrejelzett felett. Ezen felül az eladó minden egyes olyan termékre visszatérítési garanciát biztosít a megállapodott tartományon belül, amelyet a vevő nem tudott értékesíteni vagy visszaküldött. A szerződéstípus az ellátási láncot abban segíti, hogy részben kiegyensúlyozza azokat a problémákat, amelyek a decentralizált irányításból adódnak, úgy mint kettős marginalizáció, magasabb előrejelzett mennyiség vagy információ-megosztási hiányosságok. A szerződés értelmezhető úgy, mint a vevő hajlandósága arra, hogy megfizesse a rugalmasságot. Ez segít az ostorcsapás-effektus csökkentésében, és arra is használható, hogy felossza a keresleti bizonytalanságból eredő költséget a lánc tagok között.

3.5. Visszavásárlási szerződés

A szerződéstípus a vevőt ösztönzi arra, hogy elkerülje a készlethiányt azzal, hogy több egységet rendel, mivel a szállító garantálja, hogy visszavásárolja a nem értékesített mennyiséget egy előre megállapodott áron. Ugyanakkor magas visszavásárlási árak alacsonyabb profitot eredményeznek. A szerződéstípus alkalmazása a szereplők kockázati magatartásától függ. Ez a típus lehetővé teszi az ellátási lánc koordinációját és már egy vevő esetén is növeli a teljes lánc profitját. Ugyanakkor igaz, hogy több vevő esetén már kevésbé optimális. Ezen felül megállapítást nyert, hogy ez a szerződés csökkenti a vevő kockázatát és növeli a szállítóét.

4. SZERZŐDÉS-VÁLASZTÁSI KERETMODELL

Az alábbiakban egy olyan keretmodellt mutatunk be, amely alkalmas a koordinációt gátló tényezők alapján a megfelelő szerződéstípus kiválasztására irányt mutatni úgy, hogy a szerződéstípus a gátló tényező ellen hasson. A választás az alapján történhet, hogy a döntéshozók értékelik a befolyásoló tényező erősségét és az előre meghatározott kapcsolatrendszer mentén összeszámolják az adott szerződéstípusokra jellemző, szubjektív

értékelés alapján kapott értéket. Ez egy első lépéses választás lehet, a továbbiakban érdemes a választást pénzügyi számítások elvégzésével pontosítani. Az 1. táblázat foglalja össze a kidolgozott modellt. A modell négyfős szakértői csoport segítségével került tesztelésre.

1. táblázat. Kapcsolati keretmodell (saját szerkesztés [3] felhasználásával)

Koordinációt gátló tényezők	Szerződéstípusok				
	Árbevétel- megosztási	Mennyiségi kedvezmény	Rugalmas mennyiség	Visszavásár- lási	
Termék-életciklus bizonytalanság			X	X	
Eltérő szervezeti kultúra	X				
Nem optimálható termelési mennyiség		X	X		
Független készletfeltöltések			X		
Kooperáció hiánya	X				
Célokbeli ellentétek	X				
Kiszállítási gyakoriság ingadozásai			X		
Tétel nagyságbeli eltérések		X		X	
Elavult információrendszer	X		X		
Ütemezési problémák			X		
Információ-megosztás hiánya	X				

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SINGH, R.K., BENYOUCEF, L.:** *A consensus based group decision making methodology for strategic selection problems of supply chain coordination*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 26 (2013) pp.122–134.
- [2] **SLUIS, S., GIOVANNI, P.:** *The selection of contracts in supply chains: An empirical analysis*, Journal of Operations Management 41 (2016) pp.1-11.
- [3] **ARSHINDER, A.K., DESHMUKH, S.G.:** *Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions*, International Journal of Production Economics 115 (2008) pp.316– 335.
- [4] **HJAILA, K., LAINEZ-AGUIRRE, J.M., PUIGJANER, L., ESPUNA, A.:** *Decentralized Manufacturing Supply Chains Coordination under Uncertain Competitiveness*, Procedia Engineering 132 (2015) pp.942 – 949.
- [5] **PROCH, M., WORTHMANN, K., SCHLUCHTERMANN, J.:** *A negotiation-based algorithm to coordinate supplier development in decentralized supply chains*, European Journal of Operational Research 256 (2017) pp.412–429.
- [6] **SHEN, B., QIAN, R., CHOI, T-M.:** *Selling luxury fashion online with social influences considerations: Demand changes and supply chain coordination*, International Journal of Production Economics 185 (2017) pp.89–99.
- [7] **MANTIN, B., JIANG, L.:** *Strategic inventories with quality deterioration*, European Journal of Operational Research 258 (2017) pp.155–164.
- [8] **ERHUN, F., KESKINOCAK, P.:** *Game Theory in Business Applications*, Stanford University, (2003) pp.36-45.

KÖZETEK HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA TŰSZENZORRAL

MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY ON ROCKS WITH NEEDLE PROBE

FARGÓ Enikő¹, BUDAY Tamás²

¹Ph.D hallgató, lisanie@freemail.hu

¹ Ásvány és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

²Ph.D., egyetemi tanársegéd, buday.tamas@science.unideb.hu

² Ásvány és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: Jelen cikkünkben a kompakt kőzetek hővezetési tényezőjének tűszenzorral történő megállapíthatóságát vizsgáljuk. A nem állandósult hővezetésben végzett mérések fúrt vagy aprított kőzetekben végezhetők, ez utóbbiak esetében megfelelő pórustér kitöltő fluidumok használatával. Ismert félempirikus összefüggés segítségével vizsgáltuk a kőzetszemcse keverékek mért hővezetési tényezőjének extrapolálhatóságát és különböző fluidumok használhatóságát. A kapott eredmények alapján meghatároztuk, hogy mely esetekben érdemes előnyben részesíteni ezt az eljárást a kőzet megfúrásával szemben, illetve milyen nehézségekkel kell számolni a vizsgálat során.

Kulcsszavak: hővezetési tényező, tűszenzor, lapszenzor, kompakt kőzet

Abstract: In this paper possibilities for determination of compact rocks' thermal conductivity by thermal needle probe are described. These measurements are made among non-steady state circumstances and require a drilled hole in the rock or grinded sample with proper pore fluid. Extrapolation of the measured data with a known semi-empirical formula and usability of different pore fluids were studied. Based on the results the cases when grinding the sample is preferable than drilling a hole into the sample are also presented and in addition, the occurring difficulties of the measurements are also discussed.

Keywords: thermal conductivity, needle probe, plane probe, hard (compact) rocks

1. BEVEZETÉS

A kompakt kőzetek hővezetési tényezőjének ismerete számos gyakorlati feladat elvégzéséhez fontos lehet. Ezek közül lényegesnek tartjuk a geotermikus energia hasznosítás során fellépő hővezetési folyamatok leírásában, illetve építési kőanyagok környezetében lejátszódó hővezetés leírásában betöltött szerepét. Azonban a hővezetési tényező meghatározása nagyméretű kőzettömbök esetén számos problémába ütközhet. A különböző geometriájú szenzor típusokkal más-más módszerekkel végezhetők el a mérések. A szenzorok jelentős része laboratóriumi kialakítású, illetőleg felárért tartalmazzák a terepen használható egységeket is.

A modern műszerek elsősorban tranziens hővezetés mérésén alapuló gyors (néhány perces) vizsgálatokat tesznek lehetővé úgynevezett lapszenzorok vagy tűszenzorok segítségével. Míg a lapszenzorok vágott, csiszolt kőzetfelszíneket igényelnek, addig a tűszenzorral történő mérésekben a kompakt kőzetekből kőzetport, aprított kőzetet kell készíteni, esetleg fúróval kialakított kis átmérőjű furatban kell a mérést elvégezni. Ebből következően a terepi hővezetési tényező mérés kompakt kőzetek esetében ritka.

A tűszenzorokat széles körben alkalmazzák folyadékok illetve por állagú anyagok hővezetési tényezőjének meghatározására [1], így földtani alkalmazásuk laza üledékekben is kivitelezhető. Kutatásainkban e tűszenzorok használhatóságát terjesztjük ki kompakt kőzetek

hővezetési tényezőjének meghatározására illetve becslésére megadva a kidolgozott módszer korlátait is.

2. HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA NEM ÁLLANDÓSULT HŐVEZETÉSBEN TÚSZENZOR SEGÍTSÉGÉVEL – ELMÉLETI HÁTTÉR

A hőterjedés földtani közegekben háromféleképpen történhet, melyek közül mi a hővezetést vizsgáljuk. A hővezetés szilárd, vagy nem áramló (nyugalomban lévő) fluidumokban hőmérséklet-különbség hatására jön létre. A folyamat során a belső energia részecskéről részecskére adódik át, anyagáramlás ebben az esetben nem történik. A hővezetés a nagyobb hőmérsékletű hely felől a kisebb hőmérsékletű hely felé irányul, azaz a hőmérsékleti gradienssel ellentétes [2]. A hővezetés alapegyenleteit homogén izotróp közegben a Fourier-törvények írják le:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \quad (2)$$

ahol:

- q – hőáramsűrűség [W/m^2]
- T – hőmérséklet [K]
- t – idő [s]
- c – fajlagos hőkapacitás [$\text{J}/(\text{kgK})$]
- ρ – sűrűség [kg/m^3]
- λ – hővezetési tényező [$\text{W}/(\text{Km})$]
- α – hődiffuzivitás [m^2/s], $\alpha = \lambda / \rho c$

A nem állandósult hővezetés mérése gyakorlati szempontokat figyelembe véve előnyösebb, mint az állandósult mérése. Elsősorban az eljárás gyorsasága miatt (mely csupán néhány perc is lehet) kedvezőbb, hiszen ebben az esetben nem kell megvárni a termikus egyensúly beállását, és nem kell a minta adiabatikus szigeteléséről gondoskodni.

A mérés során meghatározott feszültséggel fűtjük a tűszenzort. A hőteljesítmény egy része eltávozik, a maradék pedig a tű hőmérsékletét növeli. Az alkalmazott tűszenzort vastagsága az eljárás során elhanyagolható, az egy vonal forrásnak tekinthető, így egy rövid tranzienst követően a hőmérséklet változás az időnek az alábbi függvénye:

$$\Delta T = \frac{Q}{4\pi\lambda} \cdot (\ln t + B) \quad (3)$$

ahol:

- Q – leadott hőteljesítmény [W]
- l – tű hossza [m]
- ΔT – tű hőmérsékletének változása [$^{\circ}\text{C}$]
- t – idő [s]
- B – tranzienst követő folyamat paramétereitől és a tű termikus ellenállásától függő paraméter [-]

A (3) egyenletből levezethetően a hővezetési tényező kétféleképpen állapítható meg. Az első esetben a kiválasztott t_1 és t_2 időpontok segítségével egyszerű képlettel meghatározható a

hővezetési tényező:

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi l} \cdot \frac{\ln(t_2/t_1)}{T(t_2) - T(t_1)} \quad (4)$$

A második esetben a kiválasztott t_1 és t_2 időpontok között mért adatokra függvényt illesztnek, a függvény paramétereiből a hővezetési tényező meghatározható. Ez utóbbit alkalmazza az általunk használt kiértékelő program is. Mindkét módszer hátránya hogy a t_1 és t_2 időpontokat a kiértékelő választja meg, így a kapott eredmény objektivitását ez befolyásolja.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Minta előkészítés

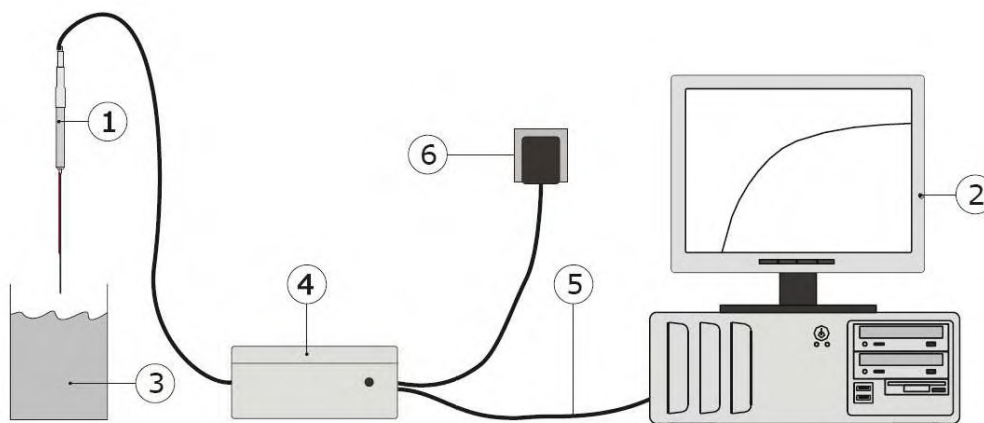
Méréseink elvégzéséhez a Bükk hegységből, a Miskolc-Hollóstető műút Lusta-völgyi elágazásból származó mészköveket használtunk fel. A minta a Felsőtárkányi Mészkő Formáció Hollóstetői Mészkő Tagozatába tartozik. Az enyhén metamorfizált kőzetváltozatok szövete irányított, az alapanyaga mikropátitá, pátitá kristályosodott át. A kevésbé átkristályosodott részekben a pelágikus szervezetek is felismerhetők [3]. Választásunk azért esett erre a területre és kőzettípusra, mert kellően nagy mennyiségű, a vizsgálat szempontjából homogénnek tekinthető, porozitás nélküli minta gyűjthető be, így a kompakt kőzeteket hővezetési szempontból jól reprezentálja és a használt folyadékokkal reakcióba nem lép.

A túszenzoros mérésekhez négy különböző frakciójú aprított kőzetet készítettünk el, melyeket szitálásos módszerrel különítettünk el egymástól. A kialakított szemcseméret tartományok a következők: 0,036-0,2 mm; 0,2-0,25 mm; 0,4-0,5 mm; valamint 1-2 mm. Miután minden tartományból elegendő mennyiségű minta elkészült, egyesével meghatároztuk az egyes frakciók sűrűségét. A sűrűség meghatározásához piknométert használtunk.

3.2. Mérések

Az előkészületek után került sor a hővezetési tényező mérésre. A túszenzoros eljárás kivitelezéséhez egy a Hukseflux által gyártott hővezetési tényező mérő rendszert alkalmaztunk (TPSYS08)(1. ábra). A rendszerben egy TP08 típusú szenzor található, és egy CR1000 típusú egység végzi az adatrögzítést [1]. Az adatokat letöltés után a gyártó által létrehozott Microsoft Excelben megírt programmal dolgoztuk fel.

A mérésekhez 225 cm³-nyi mintát használtunk, szabványos 250 cm³-es főzőpohárban. A mérések során mindhárom három fűtési teljesítményt használtuk („low”: kb. 1 W/m, „medium”: kb. 3 W/m, „high”: kb. 5 W/m), mérések időtartama 100-800 s-ig terjedt az aktuális minta tulajdonságainak megfelelően. Ez utóbbi azért lényeges, mert a mérő-értékelő szoftver alapbeállítása az, hogy a t_1 időpont a mérési idő fele és a t_2 időpont a mérési idő vége, azaz a mérés hossza közvetlenül meghatározza a hővezetési tényező elsődlegesen meghatározott értékét. Mivel a mérések egy részénél egyértelmű hogy t_1 vagy t_2 nem a megfelelő tartományba esett így szükségeszerű a részletes kiértékelés használata.



1. ábra. Hukseflux TPSYS08 hővezetési tényező mérő rendszer

1. tűszenzor; 2. kiértékelést végző számítógép; 3. minta; 4. adatrögzítő rendszer; 5. adattovábbító kábel; 6. tápegység [1]

Az aprított közet hővezetési tényezőjét különböző frakciókon külön-külön, illetve az 1-2 mm-es és a 0,4-0,5 mm-es frakciókat 1:1-es tömeg arányban keverve légszárazon, valamint a pórusteret ioncserélt vízzel telítve is meghatároztuk. Ezek után a víznél viszkózusabb, megmért sűrűségű és hővezetési tényezőjű folyadékokat (folyékony szappan, napraforgó olaj, glicerín) használtunk az 1-2 mm-es frakció szemcséi közötti pórustér feltöltésére. A nagy viszkozitás csökkenti a mérés közben a fluidumrészecskék mozgásából származó zavart, emellett a folyékony szappan hővezetési tényezője a vízzel megegyező. Az egyes keverékek porozitását a keverék térfogata, a közetszemcsék és a póruskitöltő fluidum tömege segítségével számoltuk ki. A kutatás kiegészítéseként lapszenzoros hővezetési tényező meghatározást is végeztünk Hukseflux TP01 szenzorral a mészkőminta vágott, csiszolt felületén.

3.3. A mérések kiértékelése

A korábban bemutatott szubjektivitási problémák miatt az összes mérés teljes adatsorát elemeztük. A függvénymenetekből lehatároltuk a tranziens intervallumot, a mérésre alkalmas időintervallumot és a hosszabb mérések esetén a falhatással érintett hőmérsékletváltozásokat. A kiértékelő szoftver *Int* szerint egyenletesen újramintázza az adatsort és a meghatározott t_1 és t_2 időpontok között egyenest illeszt rá (2. ábra). Az egyenes meredekségéből a hővezetési tényező kiszámolható.

A közetminta porának hővezetési tényezője elsődlegesen a közet és a pórusteret kitöltő fluidum hővezetési tényezőjétől, valamint a minta porozitásától függ. Vizsgálataink során az egyik legegyszerűbb félempirikus összefüggést [4] használtuk:

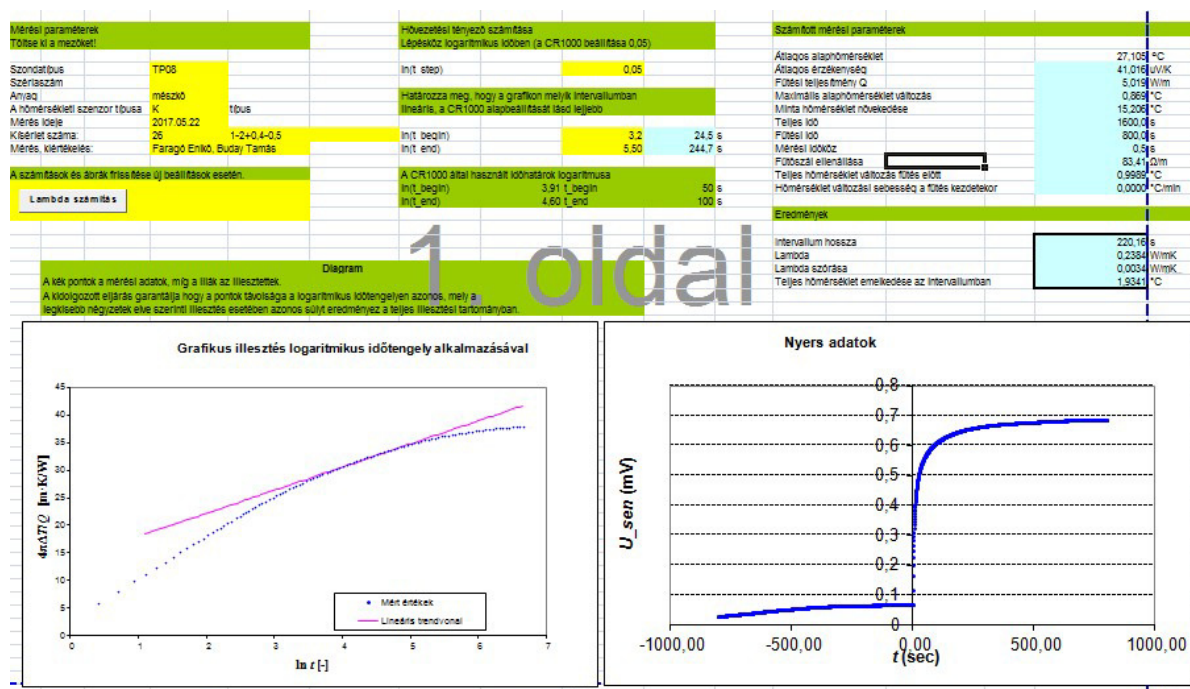
$$\lambda = \lambda_k^{1-n} \cdot \lambda_f^n \quad (5)$$

ahol:

- n – porozitás [–]
- λ_k – a közet hővezetési tényezője [W/(mK)]
- λ_f – a póruskitöltő fluidum hővezetési tényezője [W/(mK)]

A választott módszer alkalmazásának egyik lényeges eleme, hogy az aprított közet keverék

porozitását minél szélesebb tartományban lehessen változtatni, különösen a kis porozitás irányába, hiszen a kompakt közet hővezetési tényezője a 0 % porozitáshoz tartozó (határ)értékként értelmezhető. A másik fontos feltétel, hogy a rendszer kétfázisú legyen, azaz a közetszemcsék mellett csak egy féle fluidum legyen, ami gyakorlatban a buborékmentesség feltételét jelenti.



2. ábra. A mérések kiértékelő lapjának részlete a kevert frakciójú közetszemcsék levegővel történő mérésének adataival

4. EREDMÉNYEK

Méréseink során meghatároztuk az egyes felhasznált anyagok sűrűségét és hővezetési tényezőjét (1. táblázat). A levegő és víz esetében a hővezetési tényezőt [1] szolgáltatatta, mivel azt a vizsgált módszerrel a termokonvekciók beindulása miatt közvetlenül nem lehetett meghatározni. A kapott sűrűségadatok szükségesek a keverékeknek porozitásának meghatározásához.

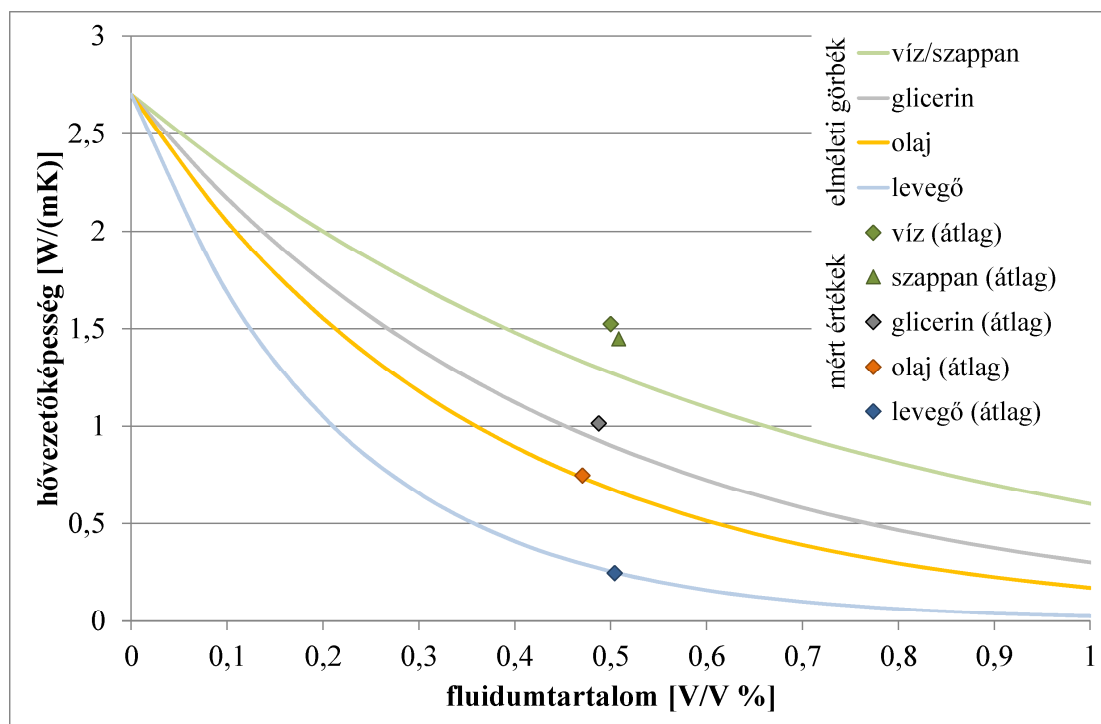
1. Táblázat A felhasznált anyagok sűrűsége és hővezetési tényezője (vastagon szedve a saját mérések eredményei)

	mészko	levegő	víz	folyékony szappan	glicerin	napraforgóolaj
sűrűség(g/cm ³)	2,70	1,2*10 ⁻³	1	1,02	1,24	0,91
hővezetési tényező(W/mK)	2,70	0,024	0,60	0,60	0,30	0,17

Az egyes adatsorok elemzése, a megfelelő t_1 és t_2 időpontok kiválasztása után megkaptuk a mintáink hővezetési tényező értékeit. Az alpmérések (víz illetve levegő pórfluidum) esetében a porozitást csak a kb. 46–54 % közötti intervallumban tudtuk kialakítani, még a keverékek esetében sem sikerült lényegesen kisebb porozitást létrehozni, ami a kapott adatok

kiterjeszthesetőségét rontja.

A körülbelül 50 %-os porozitású, 1-2 mm-es szemcseméretű aprított kőzetből mért értékekkel teszteltük a mérés és az (5) összefüggés együttes alkalmazhatóságát. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy azokban az esetekben ahol olajat vagy levegőt használtunk póruskitöltő fluidumként a mért értékek jól illeszthetők az elméleti értékek görbéire. A glicerín esetén már van eltérés az elméleti görbéhez képest, és ez a folyékony szappan és víz esetében már jelentősebb. A pórusfluidum hővezetési tényezője, a porozitás és a mért érték segítségével elvégeztük az (5) összefüggésnek megfelelő extrapolációt, melynek eredményeként a levegő és az olaj esetén 2,63 illetve 2,78 W/(mK) értéket kaptunk, a másik három mérés esetén a meghatározott értékek meghaladják a 3 W/(mK) értéket (több mint 10 % eltérés a valós értéktől).



3. ábra. Az (5) összefüggés elméleti görbéi az egyes póruskitöltő fluidumok esetén a mért értékek átlagával

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A kapott eredmények alapján az extrapolálás jelentős bizonytalanságot hordoz, így használatát csak akkor javasoljuk, ha több fluidummal elvégezve a mérést és kiértékelést hasonló eredményt kapunk. Ennek kivitelezése során kedvező, hogy lehet olyan nagy viszkozitású fluidumok közül választani (folyékony szappan, glicerín, étolaj) melyeknek jelentősen különböző a hővezetési tényezője. További lehetőséget jelenthet a számítás pontosságának növelése érdekében a viszkozusabb folyadékokban potenciálisan kialakítható 55 %-nál nagyobb „porozitás” (folyadékban lebegő részecskék), illetve a még durvább (>2 mm) frakciók használatával a 40 %-nál kisebb porozitás is elérhető. Ezekben az esetekben azonban a keverék homogenitása nehezebben biztosítható, a mérések száma, a szükséges mintamennyiség és az előkészítési idő is jelentősen megnő.

A porozitás meghatározása, így az extrapolált érték a pontos térfogatmérésre nagyon érzékeny. Emiatt, és a szenzor környezetében mérhető hőmérséklet stabilitása miatt kedvezőbb az ismert térfogatú henger alakú mintatartó teljes feltöltése.

A folyékony szappan használata a vízhez képest kisebb szórású hővezetési tényező értékekhez vezetett, de megfelelő („high”) fűtési teljesítmény mellett az 1-2 mm-es szemcsetartományban sem alakult ki egyértelműen a mérést megghiúsító konvekció.

Megfigyeléseink alapján a glicerines, illetve folyékony szappanos pórus kitöltés esetén nagyobb figyelmet kell fordítani a minta buborékmentességére, mely jelenség a kisebb szemcseméretetek esetén jelentősebb.

Összességében a fluidumok alkalmazhatóságát számos tényező befolyásolja, melyek közül néhány fontosabbat a 2. táblázatban tüntettünk fel.

2. Táblázat A felhasznált fluidumok alkalmazhatósági táblázata

++: nagyon kedvező, +: kedvező; 0: átlagos; -: kedvezőtlen

	levegő	víz	folyékony szappan	glicerín	napraforgó -olaj
ár	++	++	+	-	+
kivitelezhetőség	++	++	0	-	+
modellbe való illeszkedés	++	-	+	+	++
minta újrahasznosíthatósága	++	++	+	+	-
környezetbarát jelleg	++	++	+	0	-

6. ÖSSZEGZÉS

Az aprított kőzetből történő hővezetési tényező meghatározás jelentős bizonytalanságokkal terhelt. Alkalmazását akkor ajánljuk, amikor nincs lehetőség lapszenzoros mérésre, nincs lehetőség kialakítani a fűrt lyukat a mintán (pl. kicsi vagy nem megfelel alakú a minta méret, ha túl kemény a kőzet, ha a fúrás közben széttörhet, ha természetes állapotában hasadékos), esetleg eleve csak por áll rendelkezésre. Ha mégis szükséges aprított kőzetből mérni, akkor póruskitöltő folyadékként nagyobb viszkozitású anyagot célszerű használni viszonylag nagy szemcseméretetek mellett, több méréssorozatban.

A fluidumokra kapott eredmények ugyanakkor a fűrt lyukakban történő hővezetési tényező mérésekben is használhatók, ugyanis a lyukban termikus kapcsolatot kell létesíteni a lyukfal és a szenzor között. A kontaktanyaggal szembeni elvárások hasonlóak az itt bemutatott, a póruskitöltő fluidumokkal szembeni elvárásokhoz, így a kapott eredmények ebbe az irányba is általánosíthatók.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HUKSEFLUX:** *TP08 manual v. 1009*. 2010, p. 47.
- [2] **LITZ, J.:** *Fizika II. Termodinamika és molekuláris fizika Elektromosság és mágnesség*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, p. 659.
- [3] **PELIKÁN, P. (szerk.):** *A Bükk hegység földtana*. Magyar Állami Földtani Intzet, Budapest, 2005, pp. 74-75.
- [4] **JOHANSEN, O.:** *Thermal Conductivity of Soils*, Ph.D. thesis, Trondheim, Norway, (CRREL Draft Translation 637, 1977) ADA 044002, 1975.

ÚJ MENTŐRENDSZEREK ÉS ELJÁRÁSOK AZ IRÁNYÍTHATATLANNÁ VÁLT REPÜLŐESZKÖZÖK VÉSZELHAGYÁSÁRA

NEW ESCAPE SYSTEMS AND PROCEDURES FOR THE EMERGENCY EVACUATION OF UNCONTROLLABLE AIRCRAFT

FEHÉR Krisztina¹, KAVAS László², ÓVÁRI Gyula³, VARGA Béla⁴

¹tanársegéd, rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu

²egyetemi docens, PhD, kavas.laszlo@uni-nke.hu

³egyetemi tanár, CSc, ovari.gyula@uni-nke.hu

⁴egyetemi docens, PhD, varga.bela@uni-nke.hu

Valamennyi szerző címe: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő Intézet,
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, H-5008, Szolnok, Pf. 1.

Kivonat: A repülőeszközök és kiszolgálási technológiájuk, valamint a repülésirányítás fejlődésével, számottevően növekedett a repülés biztonsága, csökkent az egységnyi repülési időtartamra (pl. 100 000 repült óra) eső balesetek száma. Ugyanakkor, egy-egy ilyen esemény pénzben kifejezhető kárértéke egyre magasabb lett. Kézenfekvő törekvés tehát, hogy katasztrófa helyzetben, a légijármű fedélzetén tartózkodók sérülésmentes túlélési esélyeinek további javításán kívül, törekedjenek poggyászaik, sőt egyes esetekben, a lehetséges mértékig magának a repülőeszköznek is a megmentésére.

Kulcsszavak: repülőgép és helikopter vésselhagyás, pneumatikus katapult, ejtőernyő repülőgép számára, utasmentő kapszula,

Abstract: With the development of aircraft and their service technology, and that of air traffic controlling, flight safety has increased significantly and the number of accidents per unit of endurance (e.g. 100 000 flight hours) decreased. However, the damage of such incidents expressed in monetary terms has become higher and higher. Thus, it is obvious that in case of emergency, besides improving survival prospects without injury of people on board of the aircraft, they should take efforts to rescue their luggage, furthermore, in some cases, to the extent possible, to rescue the aircraft itself.

Keywords: aircraft emergency escape, pneumatic catapult, whole plane parachute, escape/safety capsule

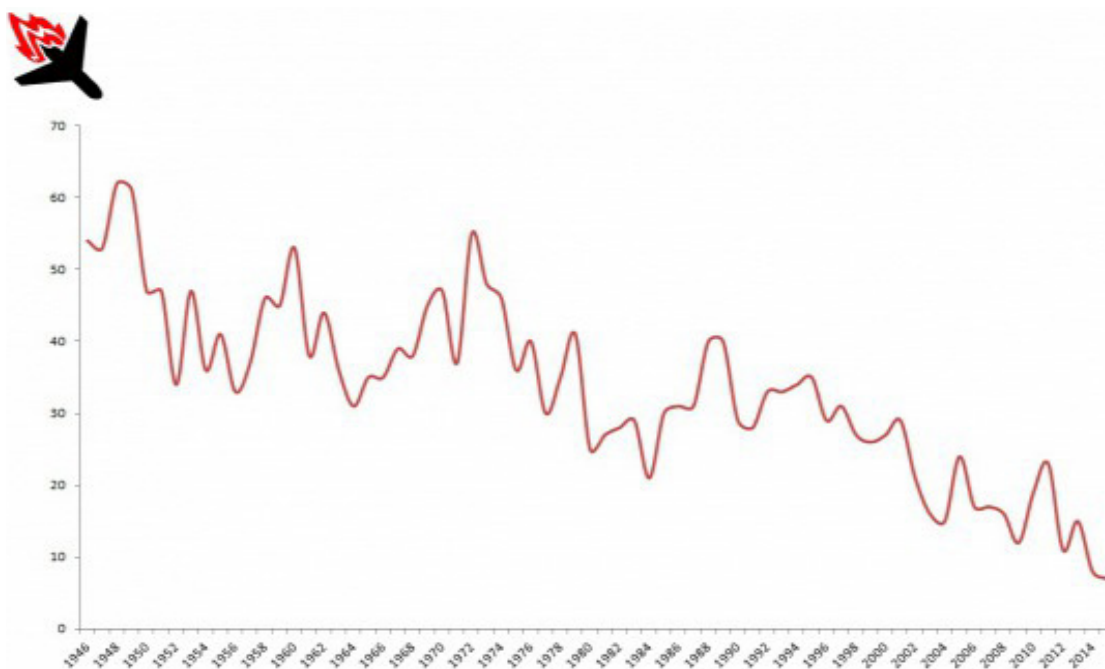
1. A REPÜLŐGÉPEK VÉSEZHAGYÓ RENDSZERI FEJLESZTÉSÉNEK SZÜKSÉGESSÉGE

A repüléshez kapcsolódó alap és alkalmazott tudományok, technológiák fejlődésének eredményeként a repülőszerkezetek megbízhatósága, illetve ennek (is) következményeként a repülés biztonsága egy évszázad alatt jelentősen megnőtt. Így az évente bekövetkező repülőesemények száma csökkenő tendenciát mutat (1. ábra), miközben a légijáratok valamint utasaik száma folyamatosan és számottevően növekszik. Mivel 100 %-os repülési biztonság belátható időn belül konstrukciósan nem érhető el, ezért a sérült, meghibásodott, balesetet szenvedett repülőgép utasai és személyzete számára biztosítani kell a - lehetőleg sérülésmentes - túlélést, illetve a repülőeszköz gyors vésselhagyási lehetőségét [3],[5].

Belátható, hogy:

- más a repülésbiztonsági kockázata egy többhajtóműves, meghatározott útvonalon, menetrendszerűen közlekedő közforgalmi, valamint egy autonóm módon célt felderítő, az ellenesség intenzív tűzhatás zónájában tevékenykedő (pl. felderítő-, vadász-) repülőgépeknek;
- más mentési módszerek és mentőfelszerelés alkalmazható a közforgalmi repülőgépek utasai, valamint a katonai légijárművek professzionális hajózó személyzete számára [6], de ezen belül is más-más eljárásokat igényelnek a merevszárnyú repülőgépek valamint a heli-

kopterek és pl. az embert szállító űrjárművek, amit tovább módosítanak, árnyalnak a földetérés helyének földrajzi és klimatikus viszonyai [1].



1. ábra Légi katasztrófák száma 1945-2015 között [Aviation Safety Network adatbázis]

A katapultüléssel felszerelt katonai repülőgépek személyzetmentési eszközeinek, eljárásainak érdemi változása belátható időn belül nem várható [5], de az utasszállító, a könnyű motoros és tūrarepülőgépeknél, valamint a helikoptereknél jelenleg is több, gyakorlati alkalmazhatósággal és rendszerszerű bevezethetőséggel kecsegtető, gyökeresen új alapokon nyugvó fejlesztés folyik. Ezek közül tekintünk át néhányat az alábbiakban.

2. LÉGIUTASOK MENTÉSI LEHETŐSÉGEI REPÜLÉS KÖZBEN

Tapasztalatok szerint műszaki meghibásodás miatt további repülésre alkalmatlan, repülőgépek jelentős hányada még képes elfogadható biztonsággal (kényszer-) leszállni, földet érni, a benne tartózkodók kimentése többnyire ezt követően is megfelelő hatékonysággal megoldható. A kutatás és fejlesztés:

- egyik iránya ennek fenntartása és állandó javítása, a bekövetkező repülő események tapasztalatainak folyamatos felhasználásával [10];
- a másik törekvés, hogy amennyiben szükségessé válik már repülés közben, a levegőben is lehetővé tegyék az utasok számára a biztonságos, csoportos repülőgép-elhagyást.

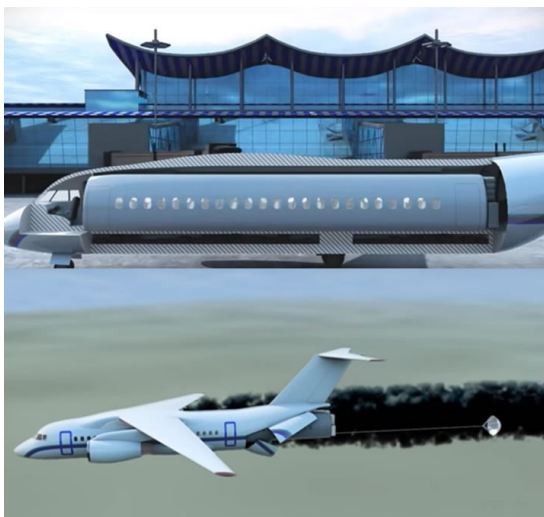
A kényszerleszállást esetlegesen megelőző fedélzeti tűz, dehermetizálódás hatásának csökkentését szolgáló eszközök (tűzoltó palackok, oxigén maszkok, stb.), majd a földetérést követő utasmentő eszközök (kijáratok, vészkiáratok, vészcsúszdák, mentőcsónakok és mellények, vészjeladók, mentőládák, megafonok száma, mérete, stb.) valamint a különböző esetekben követendő eljárások, személyekre bontott cselekvéssorok a megrendelők, konstruktőrök, üzemeltetők és végrehajtók számára részletesen és átfogóan szabályozottak, szabványosítottak ezeket "csak" követni, végrehajtani kell [5].

A szállító repülőgépek fedélzetén tartózkodók levegőben, repülés közben történő utasmentésnél alapvető nehézség, hogy személyzetén kívül, mások számára - a katonai és sportrepülésben alkalmazott, illetve bevált - ejtőernyővel történő kiugrás, vagy katapultálás lehetősége technikailag nem biztosítható. Ezeket, egyébként az utasok többsége nem is lenne képes

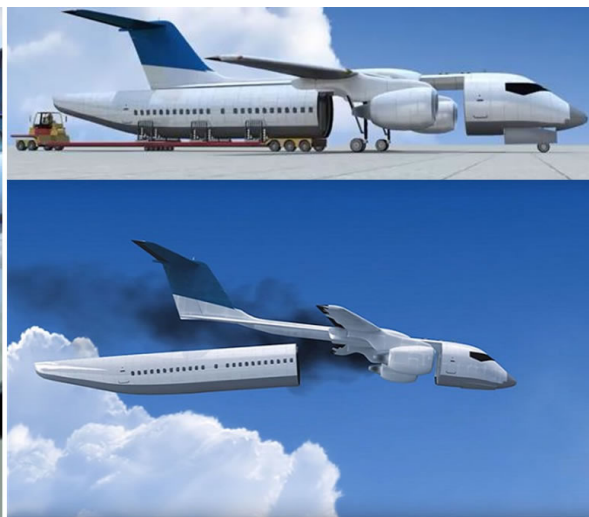
használni. Etikai megfontolásból viszont ilyenell a hajózó személyzet sem látható el.

A vonatkozó kutatások azonban azt igazolták, hogy megvalósítható mentési módszer a teljes utasfülke leválasztása - a benne tartózkodókkal együtt - és ejtőernyőkkel történő leszállítása. Erre két tervezőiroda, két megoldást is kimunkált:

- hagyományos, hengeres törzsbe görgőkön becsúsztatható, ott rögzíthető, majd vészelhagyáskor onnan nyitóernyővel eltávolítható utaskapszula (2. ábra);
- a repülőgéptörzs vezetőfülke mögötti traktusa konzolos kialakítású, hozzá az utas és poggyászeret is magába foglaló törzs közép- és farokrésze egy szerkezeti egységként rögzíthető, majd onnan egyszerű zárnyitással leoldható (3. ábra).

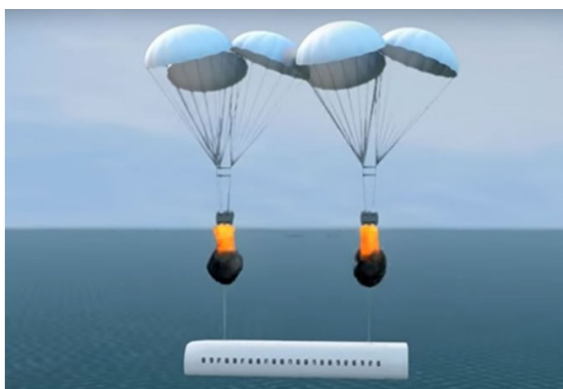


2. ábra Törzsben elhelyezhető leválasztható utaskapszula [4]



3. ábra Leválasztható utasfülke [4]

A kapcsolódó modellezések és számítások szerint konstrukciósan biztosítható, hogy a konzolos tartó és a mobil, leváló utasfülke kialakítás ellenére se bomljon meg a törzs teherviselő rendszerének integritása, illetve a fajlagos szerkezeti tömeg is csak kis mértékben növekedjen.



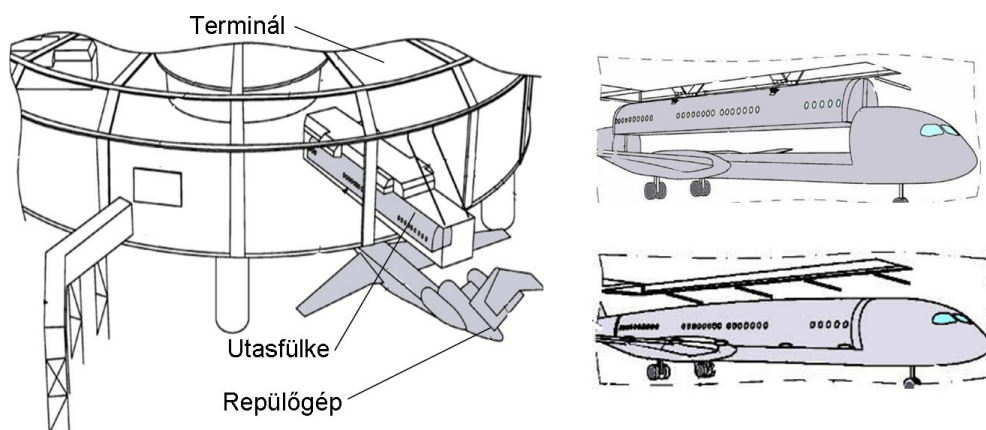
4. ábra Leválasztható utaskapszula és fülke vízre- illetve földre érkezése [4]

Mindkét megoldásnál azonos módon, földközeli fékező rakéták csökkentik a talajfogás sebességét és felfújódó gumipárnák szolgálnának az ütközési energia elnyelésére, vízre szálláskor ugyanezek javítják az úszóképességet, valamint a fülke keresztstabilitását.

Megjegyzés: Nem tisztázott, hogy a repülőgépvezetők menekülési lehetősége külön eszközökkel biztosított, vagy ehhez nekik is át kell menni az utasfülkébe vészleoldás előtt.

A leválasztható utasfülke ötlete különösen az AIRBUS támogatását nyerte el, mivel nagy

mértékben megegyezett a náluk folyó – a földi tartózkodási idő rövidítését célzó - fejlesztéssel (5. ábra). Az általuk tervezett rendszerben, az utasok már a terminálon helyett foglalnak a mobil fülkében, ahová csomagjaikat is berakják. Az őket szállító repülőgépről leszállása után az érkező utasokkal és csomagjaikkal teli fülkét beemelik a terminálba és helyükre azonnal az indulókét rögzítik.

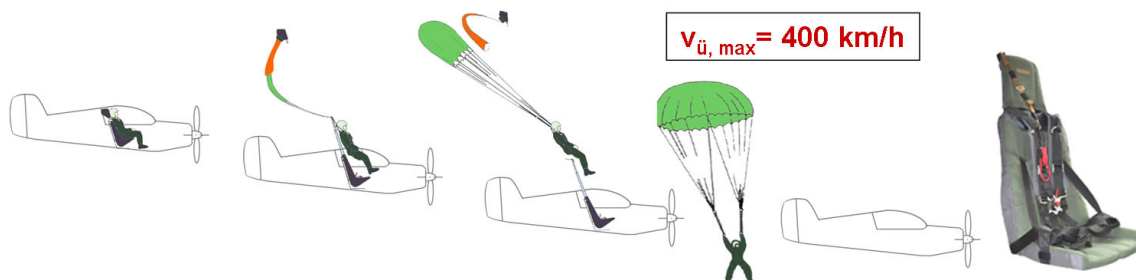


5. ábra Leválasztható utasfülke be- és kiemelése a repülőgép törzsébe (Airbus) [4]

Bár ez a konstrukció nem teszi lehetővé repülés közben a fülke vészleoldását, de egyszerűen áttervezhető ilyenre, amire meg is van a szándék. Az Airbus és Boeing kutatásai szerint van a fizetőképes kereslet az így megnövelt repülésbiztonságra.

3. PNEUMATIKUS KATAPULT

Az 1-2 üléses, 400 km/h maximális repülési sebességet meg nem haladó motoros túra és kiképző repülőgépeket rendszerint nem szerelik fel katapultüléssel, annak magas ára és fajlagos tömege miatt, illetve azért sem, mert ebben a sebességtartományban lehetőség van hagyományos ejtőernyő használatára. Természetesen utóbbi alkalmazása több kockázatot (pl. a szükséges döntés időbeni meghozatala, felkészültség, földetérés helyszíne, stb.) és korlátozást (repülési magasság, a légijármű térbeli helyzete, kényszermozgása, stb.) is hordoz.



6. ábra Pneumatikus katapultálás folyamata [4]

Az orosz Zvezda-cég felismerve, hogy alacsonyabb repülési sebesség miatt a fülkeelhagyás u_0 sebessége is lényegesen kisebb lehet mint a vadászipülőgépeknél, így a katapultáláshoz is kevesebb energia szükséges, e feladatra speciális pneumatikus kivető-rendszert hozott létre (6. ábra). Külön kedvező, hogy a piromechanizmus elhagyása, az ezzel járó összes adminisztratív biztonsági, tárolási előírást is fölöslegessé teszi, ezáltal kis repülőtereken, repülőklubok számára is egyszerűen alkalmazhatóvá válik.

A katapult **működtetésekor:**

- elsőként a teleszkópikus rúd emelkedni kezd és speciális fejrészsével áttöri, vagy ledobja a fülkeüvegezést, - ezzel egy időben megtörténik a repülőgépvezető üléshez rögzítő hevedereinek oldása - miközben az ejtőernyő tokját/konténerét rugós mechanizmus kiveti az áramlásba (0,2 s). A teleszkópikus munkahenger az előírt biztonságos magasságba, (a függőleges vezérsík felett legalább 1,5m-re!) kiemeli a hajózót az üléséből (ami rögzített helyzetében a fülkében marad!);
- a munkahenger lökete végén a hajózó tehetetlensége folytán tovább lendül, bekerül a szabad áramlásba, miközben főernyőjéről a védőtok teljesen lecsúszik és az belobban. Eközben a repülőgépvezetőre ható túlterhelése nem haladja meg a normál ejtőernyős-ugráskor a hevedereken a nyitás során átadódó értéket. Ezt követően a repülőgépet elhagyó(k) a kinyílt ejtőernyővel földet ér(nek).

A katapultrendszer **műszaki jellemzői:**

- a működtetésekor megengedett maximális repüli sebesség modifikációtól függően $v_{\max}=250\div400$ km/h és az igényelt járulékos funkcióktól függően az üléscsésze $0\div160$ mm, a háttámla $0\div100$ mm mozgathatósági lehetőséggel rendelkezhet. (A létrehozott modellek és modifikációk működési elve, szerkezeti felépítése megegyezik.)
- a kivetést külön palackban tárolt 220 bar nyomású sűrített levegő biztosítja;
- az ülés szerkezeti tömege (munkahengerrel, ernyővel, stb.) $16,5\div28,2$ kg;
- egy repülőgépből két katapultáló térbeli elkülönítését a munkahengerek szimmetriasíkhöz viszonyított, jobbra-balra $15^{\circ}30'$ -re megdöntött beépítésével biztosítják (pirotöltet hiányában nincs szükség időbeni biztonsági elkülönítésre!);
- megengedett üzemi működési sebességtartomány $v_i=60\div400$ km/h, környezeti hőmérséklet $t = (-40) \div (+60)$ °C, repülési magassági határok $H_{\text{ü}}=7\div4000$ m,.
- katapultálható tömeg $m=60\div105$ kg (kedvezőbb mint vadásziparrepülőgépekénél!);
- véletlen működésbe lépését a földön biztosítókulcs akadályozza meg
- üzemideje $20\div30$ év élettartományban változhat ($2\div5$ évenkénti ipari felülvizsgálattal).

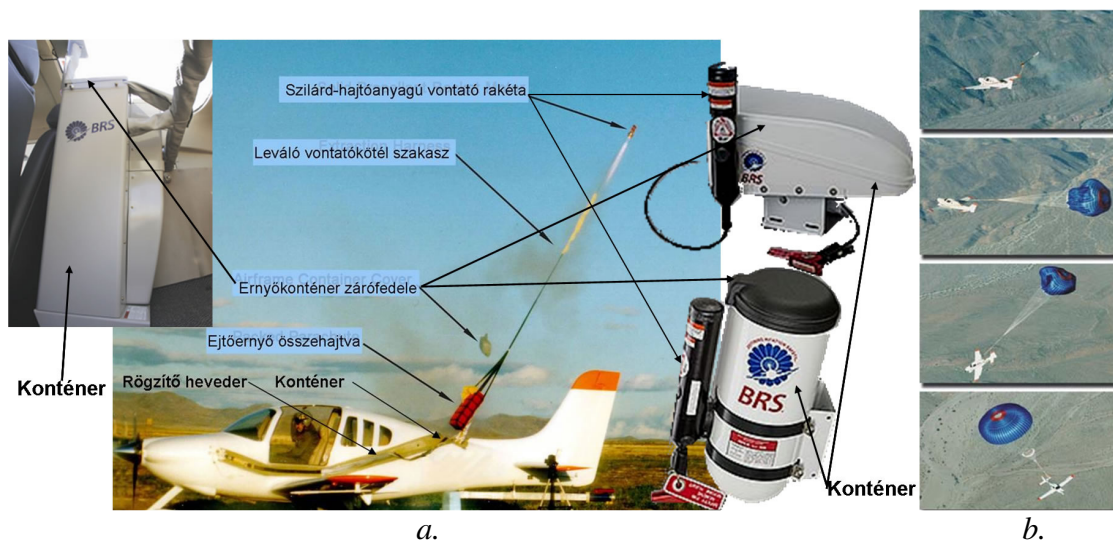
4. AZ EGÉSZ REPÜLŐGÉP MENTÉSÉRE ALKALMAS EJTŐERNYŐ

Egyre több, $2\div6$ személy szállítására alkalmas, kisebb sebességű, könnyű repülőgép opcionális tartozéka az olyan ejtőernyő, amely képes az egész légijármű és a benne ülők biztonságos leszállítására. Ennek különösen akkor nagy a jelentősége, ha a fedélzeten tartózkodó utasok potenciálisan (elméleti, gyakorlati, pszichikai, stb. felkészítettség, adottság hiányában /pl. idős, gyermek/) képtelenek személyi mentőeszközök (pl. ejtőernyő) használatára.

Az egész repülőgép mentésére alkalmas ernyőt a törzsben, vagy a fülkében, zárt konténerbe helyezik el mellette a vontató rakétával. (A teljes rendszer tömege $m=30\div40$ kg, kereskedelmi ára $3400\div10\,300$ USD, néhány változatát a 7. ábra szemlélteti!).

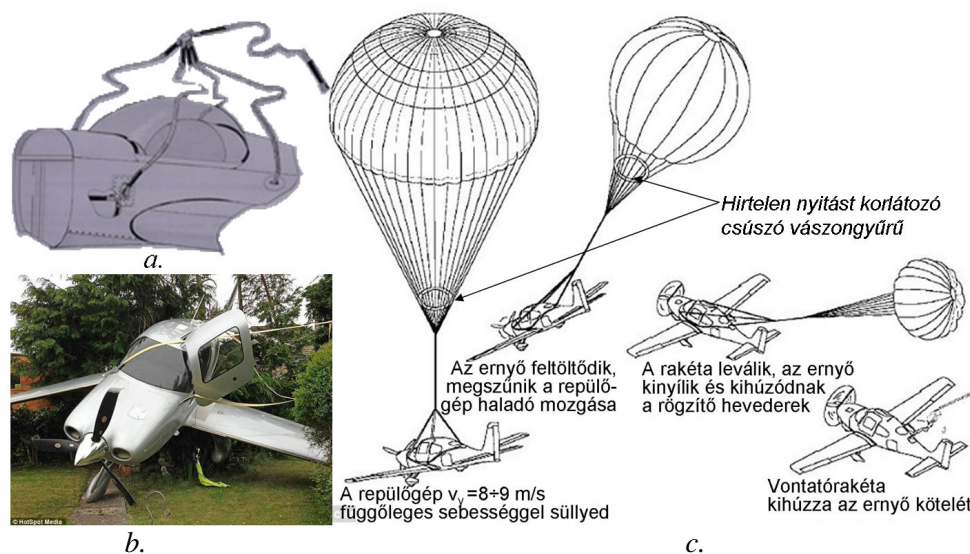
A működtetés (7. és 8.c. ábra) rendszerint a konténer zárófedelének eltávolításával kezdődik, majd ebből a rakéta vontató-kötéllel kihúzza az összehajtogatott mentőejtőernyőt. Biztonsági megfontolásból, a rakéta - miután az ernyő eltávolodott a törzstől - még működő hajtóművel leválik a vontató kötélről és eltávolodik a repülőgéptől. Földetéréskor a létrejövő túlterhelés értéke rendszerint kisebb mint a maximális megengedett ($n_{y\max}=4$), így a repülőgép nem vagy alig sérül és javítható marad. Az ernyőről légerő terhelést rendszerint 4 heveder adja át a törzs teherviselő szerkezeti elemeire (megerősített törzskeret, hossztartó gerenda, stb.) (8.a. ábra).

A bekötési csomópontok elhelyezése süllyedéskor és a talajfogás pillanatában biztosítja a törzs (közel) vízszintes helyzetét. Így a – rendszerint nem behúzható – futóművek rugalmasan, de akár maradandóan deformálódva is részt vehetnek az ütközési energia elnyelésében, megakadályozva törzs, illetve az utasfülke sérülését, roncsolódását (7.b. és 8. b. ábra).



7. ábra Repülőgép mentőernyő lehetséges kialakítása, elhelyezése és működési folyamata [4]

Az ernyő hirtelen nyitását, - ezáltal lökésszerű terhelés átadást a törzsre - a hevederen lassan lecsúszó vászongyűrű akadályozza meg (8. c. ábra). A sérülésmentes földetérés fontos feltétele, hogy a repülőgépen utazók rendeltetésszerűen használják a biztonsági öveiket.



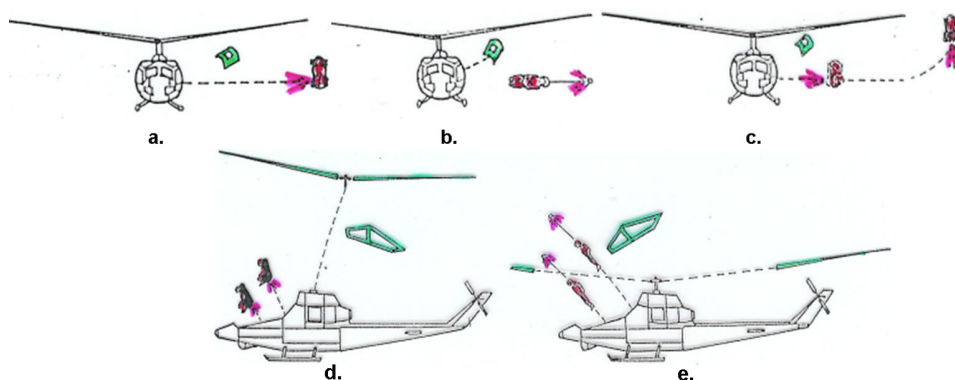
8. ábra Repülőgép mentőernyő lehetséges rögzítése és nyitási folyamata [4]

5. KORSZRŰ HELIKOPTEREK VÉSZELHAGYÓ ÉS MENTŐ RENDSZEREI

A sérült, katasztrófát szenvedett polgári helikopterek utasainak, személyzetének mentési, megmentési eljárásai megegyeznek a hasonló rendeltetésű merev-szárnyú repülőgépekével, ami a katonai helikopterek egy részénél is alkalmazható. Utóbbiak komplex védelme vizsgálatához azonban figyelembe kell venni, hogy harci alkalmazásukkor az ellenséges tűzhatás zónában a biztonságos repülésük egyik meghatározó feltétele a földközeli ($H < 15$ m) repülés magasság.

Legalább ennyire fontos, hogy a rendőrségi, mentési, tűzoltási, ipari beemelési feladatok egy része is lakott települések felett, földközeli, gyakran függésben történik, így a felsorolt valamennyi repülési helyzetekben közös, hogy sem ejtőernyővel, sem autorotációval történő földetérés feltételei nem biztosítottak. Lakott települések fölött történő balesetnél még számolni kell a lezuhant légi jármű által a földön okozott személyi és/vagy dologi károkkal is.

A személyzet mentésére látszólag új dolgot nem kellett kitalálni, hiszen a katapultülés régóta ismert és alkalmazott eszköz. A merevszárnyú repülőgépeken bevált, felfelé történő gépelhagyásnak viszont helikoptereknél akadálya forgószárny. Természetesen több egyszerű, kézenfekvőnek látszó ötlet is született a probléma megoldására oldalirányú gépelhagyással (9. ábra a-c.), melyek közös sajátossága a teljes gyakorlati használhatatlanság. (Pl. földközelen, bedőlt helyzetben biztos a talajhoz ütközés.)

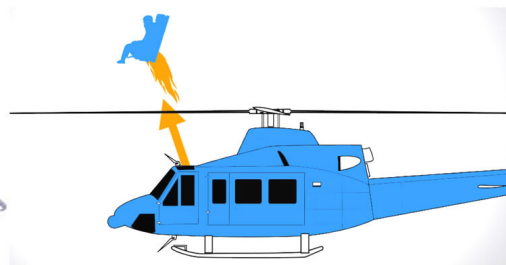


9. ábra Helikopterből történő katapultálás lehetőségei [4]

Használható megoldásnak helikopterek esetében is csak a felfelé történő katapultálás bizonyult, ami feltételezi a forgószárny egészének (9.d. ábra), vagy lapátjainak (9.e. ábra) gyors eltávolítását (lerobbantását). A vészelhagyás történhet merevszárnyú repülőgépeken bevált, némileg "butított" katapultüléssel (repülési magasság és sebesség szerinti korlátozó rendszerek elhagyásával, kisebb pirotöltettel, stb. 9.d. ábra) vagy vontató rakétával (9.e. ábra).



10. ábra Ka-50/52 és katapultülése [8]



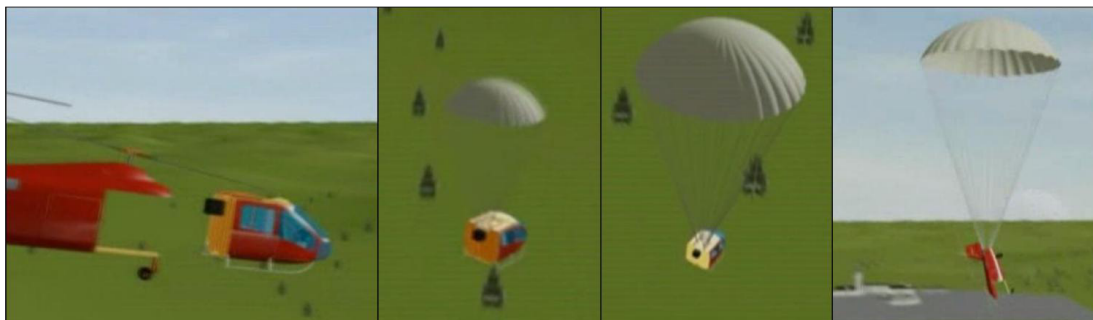
11. ábra Boldmethod katapult [9]

A jelenleg egyetlen, a Ka-50/52-es harci helikopteren beépített, K-37-es katapultülést az orosz ZVEZDA cég gyártja (10. ábra). Az ülés csésze függőleges irányban 170 mm-es tartományban mozgatható. A teljesen felszerelt rendszer (ülés, rakéta, ejtőernyő, mentő és a különböző kommunikációs berendezések /NAZ/) tömege 94 kg. A 0-0-ás vészelhagyó rendszer 0÷400 km/ó repülési sebesség és H=0÷4000 m repülési magasság tartományban használható, úgy, hogy maga az ülés a fülkében marad (hasonlóan a 6. ábrán láthatóakhoz!).

A Rotor Floater vállalat kísérletezik az ún. Boldmethod vészelhagyási eljárással (11. ábra). Ennek lényege, hogy hirtelen, intenzíven lelassított forgószárnylapátok között - a gépágyú-szinkronizátor analógiájára - nagyon pontosan időzítve történik a katapultülés áthaladása. (Ez mindössze $\pm 0,002$ másodperces eltérést tesz lehetővé!). Ezen kívül módszer *hátrány*, hogy az ülést a vadászipülőgépeknél alkalmazott értékre kell gyorsítani, $z > 2$ lapátszámnál csak nagyobb késleltetéssel, alkalmazható. Jelenlegi megbízhatósága 72 %-os (emberrel végrehajtott kísérlethez 80 %, rendszerbeállításához 99 % elérése szükséges).

Oroszok olyan eljárást is kidolgoztak helikopter vészelhagyására, mellyel az utas és személyzeti fülke külön egységként, forgószárny(ak) nélkül válik el a sárkánytól és ereszkedik le

ejtőernyővel. A törzs többi része, annak végéből kinyíló másik ernyővel, kis sebességgel ér földet, megakadályozva ezzel ott jelentős rombolás, tűz, robbanás kialakulását (12. ábra).



12. ábra Helikopterből történő katapultálás utasfülkével és törzzsel [4]

Katonai helikopterek esetében jelenleg a $H < 15$ m repülési magasságról a bennülők biztonságos lezuhanását lehetővé tevő konstrukciók létrehozását preferálják [4],[5].

6. ÖSSZEGZÉS

A felsorolt eljárások eszközök, eljárások egy része már kipróbált és bevált, néhány közülük kimunkálás alatt van és ígéretes megoldásnak mutatkozik. Célszerű ezeket alaposan figyelembe venni hazánkban is a tervezett repülőgép beszerzéseknél és modernizálásoknál [2][7].

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HADOBÁCS K.** Az időjárás hatása a hajózó személyzet szervezetére a repülőgép katapultüléssel történő vészelhagyását követően REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2016/2 pp. 133-144.
- [2] **HEGEDŰS E.** Az UH-1 többfeladatú helikopter fejlesztésének története és korszerűsítésének lehetőségei KATONAI LOGISZTIKA 24:(3) pp. 216-244. (2016)
- [3] **Németh J.** A repülésbiztonság mint stratégiai kérdés, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2004/1 pp. 1-9.
- [4] **ÓVÁRI Gy.** Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2005/2 pp. 1-14.
- [5] **ÓVÁRI Gy.** Merev- és forgószárnyas repülőgépek szerkezetana III. KGyRMF, Szolnok 1988. p. 37-66. (Lényegesen átdolgozott elektronikus változat NKE/BMGE 2016.)
- [6] **SZABÓ S.** A NATO repülőorvosi harmonizációs törekvései a hadműveleti tapasztalatok és a repülésbiztonsági adatok tükrében REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2010/2 pp. 1-21.
- [7] **SZILVÁSSY L.** Harci helikopter modernizáció kérdései REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2013/1 pp. 236-262.
- [8] **ZVEZDA katalógus:** <http://777.zvezda-npp.ru/engl/product.html>
- [9] **Colin Cutler:** Bold Thinkers: Creating The World's First Helicopter Ejection Seat (gyári tájékoztató) 2015. 04. 01.
<http://www.boldmethod.com/blog/article/2015/03/helicopter-ejection-seat-rotor-floater/>
- [10] **АГРОНИК, А.Г. - ЭГЕНБУРГ, Л. И.** Развитие авиационных средств спасения, МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1990. ISBN 5-217-01052-5

TERVELLENŐRZÉSI ESETTANULMÁNYOK ELEMZÉSE AZ ERŐMŰVI BIZTONSÁG SZEMPONTJÁBÓL

ANALYSIS OF THE CASE STUDIES IN ACCORDANCE WITH THE SAFETY OF POWER PLAN

FENYVESI Csaba¹, POKORÁDI László²

¹ osztályvezető, fenyvesic@npp.hu

¹ MVM Paksi Atomerőmű ZRt

² egyetemi tanár, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

² Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, Óbudai Egyetem

Kivonat: A mérnöki tervezés során fontos, hogy olyan tervek szülessenek, amelyek nemcsak a legújabb technológiákat és tervezési módszereket hasznosítják, hanem amelyek a korábbi tervezések során elkövetett hibáktól mentesek. A mérnöki tervezés során a tervező a legszélesebb tudományos és mérnöki ismeretek alkalmazásával éri el azt az optimális végeredményt, amely minden tekintetben kielégíti a megrendelő igényeit. Jelen cikk esettanulmányok segítségével tárja fel a tervezési folyamat lehetséges gyenge elemeit.

Kulcsszavak: műszaki terv, kiviteli terv, tervelLENŐRZÉS

Abstract: It is important that along the engineering design process the results of plans don't contain only the recent technologies and design methods but also avoid the faults of former design processes. The main reason of the engineering design is to apply up-to-date scientific and engineering knowledge in order to satisfy the customers' requirements due to work out the best solution. This paper shows the possible weaknesses of the design process by case studies.

Keywords: engineering design, technical design,

1. AZ ERŐMŰ TERVELLENŐRZÉSI FOLYAMATÁNAK BEMUTATÁSA

Egy villamos erőmű megtervezése, felépítése és beüzemelése nagyon összetett és költségigényes feladat. A beruházónak érdeke, hogy a lehető legkisebb költséggel, de a lehető legmagasabb színvonalú létesítményt kapja, amivel az elvárt időtartamon belül a lehető legnagyobb haszonra tud szert tenni. Egy erőmű élettartama 30-50 év, ami technikai szempontból hosszú időnek számít, főleg az irányítás- és számítástechnikai alkalmazásokat tekintve. Ezen rendszerek avulási ideje 10-15 év, ami után cseréjük, átalakításuk szükségessé válik. Általában 20-30 üzemév után már a gépészeti berendezések cseréje is esedékes lehet és ez nemcsak a fizikai, hanem az erkölcsi avulásukban is megjelenik.

Ennek következtében egy megépített nagy komplexitású műszaki rendszer, mint például egy villamos erőmű a beüzemelés után szinte folyamatosan átalakítás alatt van. És ez nemcsak a fent említett okok miatt, hanem jogszabályi, vagy más nemzeti, nemzetközi szabványok változása miatt is szükséges. Sokszor kimondott gondolat, hogy mostanság egy dolog az, ami állandó, és az a változás.

Ez a gondolat nap, mint nap olyan kihívásokat állít nemcsak a hétköznapi embereknek, akiknek követniük kell a technológiai változásokat, hanem a tervezőknek is, akiknek előre kell gondolkodniuk és a semmiből kitalálniuk, hogy mit is szeretne a hétköznapi ember vagy más esetben a megrendelő. Ez annak a fényében válik kiemelten nehéz feladattá, amikor a megrendelő sem tudja, hogy pontosan mit is szeretne.

A tervezési folyamat kell biztosítani azt az összhangot a megrendelő és a tervező között, amely megfelelő kivitelezéssel mindig garantálja az elégedett megrendelői véleményt. Bizonyított tény, hogy a legolcsóbb és a legjobb megoldások mindig egy jó tervvel kezdődnek, de ettől függetlenül, hogy tudjuk ezt, meglepően kevés energiát fordítunk a megfelelő minőségű terve elkészítésére.

A tervellenőrzés célja az, hogy az elvárásoknak legjobban megfelelő terv szülessen, amely a megvalósulás, kivitelezés során már nem változik.

Ennek érdekében a tervezés jellemzően négy fő tervszinten valósul meg:

- **Koncepcióterv**, amelyben általában több megoldási javaslat kerül kidolgozásra, olyan szinten, hogy döntés születhessen előre meghatározott műszaki, gazdaságossági megfontolások alapján a legjobb megoldásról.
- **Műszaki terv**, amelyben a kiválasztott megoldás mélyebb kidolgozása valósul meg.
- **Kiviteli terv**, amelyben minden olyan részlet szerepel már, amely alapján a megvalósítás és kivitelezés probléma nélkül megvalósítható.
- **Megvalósulási terv**, amely a megvalósítás, kivitelezés után a ténylegesen megvalósított állapotot és tapasztalatokat mutatja be.

Ideális esetben a tervezés egyik szintről a másikra valósul meg, miközben visszalépések az előző szintre nem történnek és ennek eredményeképpen a tervezés olyan minőségű, hogy a kiviteli terv megegyezik a megvalósulási tervvel.

Ez a folyamat még a legegyszerűbb tervek esetén is ennek a logikának megfelelő módon kell, hogy megvalósuljon. Az egyszerűség (például, amikor csak egy szakaszoló armatúra cseréje történik) nem a szintek elhagyásában kell, hogy megjelenjen, hanem az egyes tervek terjedelmében.

A megfelelő tervezési folyamatnak, mint problémakörnek igen jelentős hazai és nemzetközi szakirodalma van, például [1],[3],[4],[5] és [7], amelyek középpontjában a mérnöki tervezés módszertana szerepel.

Zsáry szerint egy gép vagy berendezés tervezési folyamata négy fő részre bontható [7]:

- a feladat, célkitűzés pontos meghatározása;
- az elképzelések, megoldási gondolatok, koncepciók létrehozása;
- a szóban forgó gép, berendezés, rendszer, folyamat megtervezése;
- a feladat kidolgozása, a megfelelő tervezési, gyártási, kivitelezési dokumentumok elkészítése.

Ez a látszólag egyszerűnek tűnő logikai sor, nem tűnik bonyolultnak, mégis a mindennapi életben sok olyan átalakítást éltünk meg, ahol ennek az egyszerű sorrendnek a nem kellő figyelembe vétele eredményezte, hogy vagy a kiviteli tervkészítés során kellett koncepciót változtatni, vagy a kivitelezés során merültek fel olyan hiányosságok, amelyek a szisztematikus tervezés hiánya miatt adódtak.

Jelen dolgozatunk célja a tervellenőrzési esettanulmányok bemutatása és elemzése, valamint ezek segítségével feltárni a tervezési folyamat lehetséges gyenge elemeit.

A tanulmány fejezeteinek tartalma a következő: A 2. fejezet olyan esettanulmányokat mutat be, amelyeknél a tervezési és kivitelezési folyamat során nem sikerült optimális végeredményeket elérni. A 3. fejezet ezen esettanulmányokat feldolgozva Ishikawa elemzésen keresztül mutatja be a tervezési folyamat problémás területeit, összegzik a szerzők a tanulságokat, amelyek alapján az 4. fejezetben megfogalmazzák a fejlesztési lehetőségeket és a jövőbeli célkitűzéseket.

2. ESETTANULMÁNYOK LEÍRÁSA ÉS ELEMZÉSE

2.1 Helytelen csatornaméret megállapítás

Nyíltfelszínű árokban futó nagytérű csővezetékéből egy esetleges földrengés következtében előálló csőtörés miatt belső elárasztás következhet be. Ez ellen a megfelelő védelmet biztosítani tudja egy kellő mélységű és nyomvonal vezetésű nyílt- és zárt felszínű csatorna, amely a kiömlő vízmennyiséget felfogja és szervezeten elvezeti olyan helyre, ahol a nagymennyiségű víz nem okoz problémát. Jelen esetben a Duna a végső befogadó.

A tervezés során több, a föld alatt lévő csatornaalagutat kellett keresztezni és földalatti átvezetéseket kellett kialakítani. Az átvezetések mélységének meghatározásához a csatornaalagutak felső nézetéből adódó szélességet vették alapul. Feltételezve, hogy a csatornaalagút négyzet keresztmetszetű, miközben a valóságban az téglalap volt, amelynek a magassága meghaladta a szélességét. Ennek következtében az átvezetések tervezett mélysége nem volt megfelelő és a kivitelezés során kellett lejjebb vinni őket. Ez megnövelte a beruházási költségeket és meghosszabbította a projekt befejezési idejét, mert az átvezetések kialakításához szükséges indító és fogadó aknákat mélyebben kellett kialakítani.

A tervező nem vette figyelembe a keresztezendő csatornaalagút valós keresztmetszeti adatait, hanem feltételezésekkel élt.

2.2 Klímarendszer szívóoldali ellenállása magas

Egy villamos helyiséget klímázó frisslevegős szellőzőrendszer kialakításakor a szellőzőrendszer szívóoldali csatornája egyéb szerkezeti elemek beépítettsége miatt eltért a többi, hasonló szívócsatornától. Az adott helyen a szívócsatorna a korábban megépített csatornáktól eltérően hosszabb nyomvonallal és több iránytöréssel, de ugyanolyan keresztmetszettel lett kialakítva. Ennek következtében a szívócsatorna nyomásesése megemelkedett, ami normál esetben nem okozott problémát, amikor a rendszer szellőzőrendszer recirkulációs üzemmódban dolgozott, azaz a beszívott levegő nagy része nem a szívócsatornán, hanem a helyiségből kiágazó recirkulációs csatornán keresztül jutott a hűtő kaloriferek elé. A hűtő kaloriferek üzemzavarakor azonban a rendszer átállt a teljes frisslevegős üzemmódra és a teljes levegőmennyiség a szabadból kellett volna, hogy a szívócsatornán keresztül jusson a helyiségbe.

Ez azonban a hosszú szívóoldali légcsatorna miatt nem tudott teljesülni és frisslevegős üzemmódban a klímagép nem tudott megfelelő mennyiségű szellőző levegőt juttatni a villamos helyiségbe.

A rendszer tervezésekor a tervező nem vette figyelembe, hogy a hosszabb légcsatorna nagyobb áramlási ellenállása nem fog tudni megfelelő mennyiségű levegőt biztosítani adott üzemmódokban. A terv adaptálása a korábbi terveknek megfelelően történt figyelmen kívül hagyva a rendszer más hidraulikáját.

2.3 Szellőzőrendszeri szűrő nedvességeltávolítási problémái

Szellőzőrendszeri zsákos szűrőfal kialakításakor figyelmen kívül hagyta a tervező azt a ritka, de fontos eseményt, amikor a külső levegő hőmérséklete és páratartalma olyan értékek között van, hogy a szűrőzsákokon a nedvesség kicsapódik. A szűrőfal nagy mérete miatt, amely kb. 10x10 m keresztmetszetű a kicsapódó nedvesség elég komoly mennyiséget képvisel, amely lecsöpögve szűrőzsákokról a szűrőfal alatt összegyűlik és elárasztja a földet.

A tervezés során a tervező nem vette figyelembe, hogy az így keletkezett nedvességet szervezeten fel kell fogni és elvezetni, így utólag kellett kiépíteni a szervezett vízelvezető rendszert.

2.4 Fűtési rendszer tágulási tartály utántöltési problémái

Fűtési rendszer korszerűsítése során a rendszer tágulási tartályának átalakítása is szükségessé vált. A tágulási tartály automatikus utántöltési rendszert kapott, azaz a tágulási tartály vízfogását egy, az ivóvíz rendszerről megtáplált csővezeték biztosította mágnesszelepen keresztül.

A tervezés során a tervező nem vette figyelembe az ivóvízrendszer nyomását és olyan mágnesszelepet választott, amely nem tudott automatikusan kinyitni, így az utántöltés csak kézzel volt megvalósítható. Az automatikus utántöltés kialakításához másik, illesztett mágnesszelepet kellett választani.

2.5 Mobil dízelgenerátorok garázsja nem megfelelő méretű

Utánfutóra szerelt mobil dízelgenerátorok tárolására könnyűszerkezetes garázs lett kialakítva, amely a mobil dízelgenerátorok telepítésével egy időben épült. A dízelgenerátorok vontatására a telephelyen már meglévő nagyméretű vontatójármű lett rendszeresítve, amely viszont a nagy méretei miatt nem tudta megfelelően megközelíteni a garázsban tárolt mobil egységeket. Ezért az utánfutók garázsba történő ki- és bemozgatásához kismértékű emberi segítség volt szükséges.

A tervező a garázs tervezésekor nem vette figyelembe a meglévő vontatójármű paramétereit, illetve a tervezés megkezdésekor nem volt egyértelműen eldöntve a vontató jármű fajtája.

2.6 Szivattyútelep hidraulikai illesztési problémái

Tüzipíz rendszer átalakítása során a meglévő szivattyútelep szivattyúi nagyobb teljesítményűre lettek kicserélve, hogy az utólagosan betervezett vas-mangántalanító rendszer megfelelően tudjon illeszkedni a tüzipíz rendszerhez. A szivattyúk cseréje után egy másik, sokkal egyszerűbb és kisebb költségvetésű ötlet következtében a teljes vas-mangántalanító berendezés el lett vetve. Az új tüzipíz szivattyúk illesztése ezután komoly problémát jelentett, mert egyéb szabályozóelem híján a szivattyúk ki – és bekapcsolásával lehetett csak a rendszernyomást adott értékek között tartani, aminek következtében a vezérszivattyúk időegység alatti ki- és bekapcsolási száma nagyon magasra emelkedett. Ezt erősítette az is, hogy a tüzipíz rendszer szervezett és szervezetlen fogyásait sikerült minimalizálni, ami egy kisebb nyomástartó szivattyú kipítését vonta maga után.

Az előzetes tervezés során a tervező nem járta körbe megfelelően a lehetséges egyéb vas-mangántalanítási lehetőségeket és így a felújított szivattyútelep hidraulikus illesztése rossz kiindulási adatokon alapult.

2.7 Tüzipíz szivattyúk csapágynak sikertelen átalakítása

Hosszú, függőleges tengelyű, nedvesaknás szivattyúk csapágynak átalakítása vált szükségessé. A több, mint öt méter hosszú szivattyútengelyek csapágynak nyitott, zsírkenésűek voltak. A kenőzsír az üzemelés során bekerült a szivattyú által szállított oltóvízbe elszennyezve a tüzipíz hálózatot kenőzsírral. A szivattyúk által szállított oltóvíz mechanikusan szűrt Duna víz volt. A zsírkenésű csapágynak átalakításához vízkenésű csapágynak lettek betervezve, amelyek először többszörösen megtisztított saját szállító közeggel történt volna. A többszörös szűrés,

szinte ivóvíz minőségű vizet biztosított volna, azonban a Dunavíz relatív magas lebegőanyag tartalma miatt a szűrők már az üzembe helyezés alatt eldugultak, mert túl érzékeny szűrőrendszer lett kiválasztva. Többszörös áttervezés és kísérletezés után a legegyszerűbb gumicsapágók lettek beépítve, amelyek egyszerűen a szivattyúk saját, szüretelen szállítóközegével vannak kenve.

A tervező nem vette figyelembe a gumicsapágók valós kenővíz minőség igényét és túlságosan tiszta vízzel szeretne volna a csapágókat ellátni, amihez rendkívül költséges és adott körülmények között kivitelezhetetlen szűrőrendszert tervezett.

2.8 Hűtöttvíz rendszeri térfogatáram mérők üzemképtelensége

A hűtöttvíz rendszer feladata a központi folyadékhűtő telepen lehűtött víz továbbítása a klímagépek felé. A hűtöttvízrendszer hidraulikai egyensúlyának kialakításához alapvetően fontos, hogy minden egyes fogyasztó felé menő ágon és a hűtőgépeken átáramló mennyiségekről pontos információ, azaz térfogatáram mérés álljon rendelkezésre. Ennek okán, indukciós elven működő térfogatáram mérők lettek betervezve és kiépítve. A próbaüzem során derült fény arra, hogy a rendszerben keringő sótalanvíz vezetőképessége nem elegendő, ahhoz, hogy az indukciós térfogatáram mérők megfelelően működjenek, ugyanis túl tiszta víz keringett a rendszerben. A tervezés során a próbaméréskor rossz mintavétel miatt nem volt megfelelő a vezetőképesség meghatározás és a tervező ezáltal rossz értékeket vett alapul. A térfogatáram mérés pontosításához külön ki kellett építeni egy vezetőképesség növelő rendszert, amely utána folyamatos plusz költséget és üzemviteli felügyeletet igényelt.

A tervező a kiinduló adatokat nem vizsgálta felül és nem járt annak utána, hogy a tervezés megindítása valótlan adatokkal indult meg.

3. A SZERZETT TAPASZTALATOK KIÉRTÉKELÉSE

Az ok-okozati összefüggések feltárásához az Ishikawa módszert alkalmazhatjuk. Az ok-okozati diagram célja, hogy megismerjük az összes olyan okot, ami az okozott probléma elkerülését eredményezi. Másképpen megfogalmazva, ha az összes okot nem ismerjük, akkor nem tudjuk megakadályozni a probléma ismételt megjelenését.

Az okozat a vizsgálatunkban a független tervellenőrzés minőségének nem megfelelő szintje. Kérdés, hogy milyen okok vezethetnek a felületes tervellenőrzéshez és, hogy ezeket az okokat, hogyan tudjuk úgy kezelni, hogy az a jövőben ne okozzon hasonló eseményeket. Cél, hogy a lehető legmélyebb vizsgálatot végezzük el, az okok gyökeréig kell eljutni.

A vizsgálat szempontjából a fő okok az Ember, a Módszer, az Eszköz, a Mérés és a Környezet. Az esemény körülményeit a szerző, szakmai tudása és tapasztalata alapján, e fő-okok mentén a gyökér okok szintjéig elemezte.

Az alábbi felsorolás az Ishikawa diagram felosztása alapján, de nem a megszokott ábrázolási formában mutatja a főokok-okok egymásra épülését.

Kiindulásként az okozatot kellett megfogalmazni, ami jelen esetben a független tervellenőrzés nem megfelelő szintje volt.

A felsorolás jellegű „okozat”-„fő-ok”-„ok”-„gyökér-ok” elemzés részeredményei láthatóak alább; fő-okokként külön, az okok és gyökér-okok megadásával.

Ember:

terváttnéző szakember;

- nem kellően mély szakmai ismeretek;
- a legújabb technológiák ismeretének hiánya;

- gyakorlatlanság a tervellenőrzési módszert illetően;
- figyelmetlenség;
- nem megfelelő tervelemzési képesség;
- nem megfelelő lényegre látó képesség;
- nem megfelelő részlet felismerési képesség;
- sok esetben nem egy személy viszi végig az adott átalakítást, és ezáltal nem konzisztens a tervátnézés minősége, az észrevételek értékességének meg ítéltése.

osztályszintű csoport;

- sok esetben hiányzik az észrevételeknek a közös megbeszélése, és ezáltal nincs meg a megfelelő fedőellenőrzés;
- nem kellő mélységű információátadás a tervellenőrző személytől a csoport felé.

vezetés, menedzsment;

- nincsenek világosan megfogalmazott célok, elvárások a tervek átnézésének módszertanát, minőségét illetően.

Módszer:

egyéni módszer;

- nincs előre meghatározott módszer, amely segítené a szisztematikus tervátnézés folyamatát;
- korábbi tapasztalatok nincsenek rendszerbe szedve, hanem fejben vannak „tárolva”;
- a tervátnézés minősége nagyon függ az egyén tapasztalatától, képességeitől;
- nincs olyan segédeszköz, amely segíteni a tervátnéző szakembert az adott gép, berendezés, rendszer vagy folyamat nyilvánvaló alkalmazhatósági, felhasználhatósági korlátaival, fő működési jellemzővel stb.

csoport módszer;

- nincs előre meghatározott módszer, amely segítené a szisztematikus csoportszintű tervátnézés folyamatát;
- közös megbeszélések hiánya, ahol a kollektív tudás megjelenhetne;
- a közös megbeszéléseken nem tudatos az „ördög ügyvédje” szerep, és így nincs kihasználva az elsőszintű kritikai lépcső, ahol kiderülhet a tervvel kapcsolatos saját ismerethiányunk (nem értjük a lényegét, nem látjuk át a részleteket, nem tudjuk pontosan, hogy mi miért van stb.);
- a közös megbeszéléseken nem alkalmazzuk az aktív grafikus megjelenítés előnyeit, azaz egy egyszerű rajz, ábra felrajzolva a táblára, megfelelő magyarázattal, sokkal hatékonyabb információfeldolgozást tesz lehetővé, mint a szóban elmondott észrevétel.

észrevételek, kérdések rögzítése

- az adott tervvel kapcsolatos észrevételek egy helyen való közös gyűjtése nem megoldott, így a későbbiek folyamán erőfeszítést igényel az adott tervvel kapcsolatos minden korábbi észrevétel egyidejű áttekintése, feldolgozása;
- az észrevételek nincsenek súlyozva, aminek következtében lényeges dolgok sikkadnak el az apróbb, nem annyira fontos észrevételek között.

Eszköz:

tervellenőrzés módszertanát tartalmazó dokumentum;

- nincs egy előre megalkotott segédlet, amely végigvezeti a tervátnéző szakembert az egyes kötelező lépéseken;
- az észrevételek nem egy közös, mindenki számára könnyen elérhető dokumentumban vannak, miközben az összes információnak egy közös dokumentumban kellene szerepelnie, amely bármikor egyszerűen előkereshető.

tervellenőrzési szempontokat tartalmazó kérdőív;

- hiányzik egy olyan kérdőív, amely kérdéseken keresztül próbálja meg a tervelő személyt rábírni arra, hogy szisztematikusan gondolkodjon el az adott problémáról.

gép, berendezés, rendszerszintű jó és rossz megoldásokat tartalmazó katalógus;

- hiányzik egy olyan erőmű specifikus katalógus, amelyet áttekintve egy adott problémára a tervátnéző személy ábrák, rajzok, képek segítségével kap útmutatást a jó és rossz megoldási lehetőségekről.

Környezet:

idő;

- sok esetben a tervek csak pár nappal a tervzsűri előtt érkeznek meg, amikor már nincs arra lehetőség, hogy a korábbi feladatok ésszerű átcsoportosítása megvalósítható lenne, aminek következménye a kapkodó, felületes és ezáltal minőségileg nem megfelelő tervellenőrzés;
- ennek következménye, hogy a csoportos megbeszélésre sincs idő, ezáltal a kollektív tudás hasznosítása sem lehetséges.

Mérés:

átalakítás értékessége;

- nincs egységes mérőrendszer az átalakítások megvalósítása után az átalakítások értékességének megítélésre;
- az átalakítások utólagos elemzése és tapasztalatainak összegzése nem történik meg.

A feltárt hiányosságok összefüggnek egymással és célszerű összevonásokat végezni, mert így kevesebb javító intézkedést lehet javasolni. A javító intézkedések számát célszerű az optimális minimumra csökkenteni, mert az összes javító intézkedés egy időben történő megtétele nem lenne életszerű sem a költségeket, sem a fizikai megvalósíthatóságot tekintve.

A tapasztalat szerint a munkakultúrával kapcsolatos javító intézkedések hatékonysága nehezen mérhető egyrészt a nehezen megfogható cél és elvárás, másrészt a nagy átfutási idő, harmadrészt az ember újdonságokkal szembeni kételkedése miatt.

A következőkben jellemzően ezen gondolatoknak megfelelő megállapítások olvashatóak, ami előrevetíti azt is, hogy ebben a témakörben előrehaladást csak igen komoly pozitív hozzáállással, tenni akarással és jobbító szándékkal lehet.

A javító intézkedések egyfajta csoportosítása az alábbiakban olvasható:

- A szisztematikus tervelővizsga módszertanát egy könnyen érthető formában kell megjelölni.
- Létre kell hozni egy tapasztalat-katalógust, amelyben a korábbi tapasztalatok alapján megjelennek a jó és a rossz megoldási módszerek.
- Létre kell hozni egy konstrukciós-katalógust, amelyben az egyes gép, berendezés vagy rendszerszintű jó és rossz gyakorlatok láthatóak. Ez nem ugyanaz, mint a tapasztalat katalógus, annál sokkal általánosabb, nem egy adott átalakításhoz kapcsolódik, hanem általánosságban mutatja be az adott pl. berendezéssel kapcsolatos lehetséges mérnöki problémákat.
- Egy adott tervet egy előre meghatározott tervelővizsga-formanyomtatvány szerint, írásosan kell feldolgozni, aminek előnye, hogy az tervvel kapcsolatos észrevételek, információk hasonlóan jelennek meg, függetlenül a terv tartalmától és ezáltal összesíthetőek és elemezhetőek lesznek a tervben lévő észrevételek.

- Az írásos tervellenőrzési-formanyomtatvány fizikai kialakítása olyan kell legyen, hogy minden avval kapcsolatos dokumentum egyszerűen csatolható legyen a korábbi dokumentumokhoz és ezáltal biztosítható, hogy minden érdemi információ egyszerűen megtalálható lesz bármikor is szükség van rá. A formanyomtatványokat a tervellenőrzési dossziéba kell együtt tárolni.
- Az egyéni tervellenőrzés után minden esetben alkalmazni kell az osztályos csoportszintű egyeztetést, megbeszélést, ahol előre meghatározottan, de az egyes tervek között váltott személyekkel kell az „ördög ügyvédje” szerepkörű személyt kiválasztani, akinek aktívan kell képviselni ezt a szerepet. A közös észrevételeket szintén a tervellenőrzési-formanyomtatványokba kell rögzíteni.
- A közös megbeszéléseken előnyben kell részesíteni a grafikus megjelenítési és magyarázási lehetőségeket.
- A tervvel kapcsolatos észrevételeket súlyozni kell, amelyeket a tervzsűri észrevételek formájában külön-külön csoportba kell szedni, továbbá a tervzsűriken a hangsúlyt a fontos észrevételekre kell helyezni.

4. TOVÁBBI KUTATÁSI CÉLOK MEGHATÁROZÁSA

A tervellenőrzés folyamatának fejlesztésével jó minőségű tervek elkészítése a cél. Ennek következtében csökkennek a tervezési, beruházási, kivitelezési, üzemeltetési és karbantartási költségek és nő az adott rendszer és jelen esetben az erőmű teljes megbízhatósága, termelés és egyéb biztonsága, hiszen, amennyiben megfelelő tervek állnak rendelkezésre úgy a kivitelezés és a majdani üzembe helyezés majd üzemeltetés a lehető legkisebb kockázattal jár. Csökken például az árasztásokból, gépkiesésekből, meghibásodásokból adódó kockázat, csökken a karbantartási és üzemeltetési költség, ami mind-mind kihatással van az erőművi üzemeltetési kultúrára és így az erőmű megbízhatóságára, üzembiztonságára.

A Szerzők további kutatási célja a tervezési folyamat olyan módszerének kidolgozása, amelyben a korábban említett gyenge területek oly módon tarthatók kézben, amely a tervezési folyamatra koncentrál és a folyamat minőségbiztosítási lépéseinek betartásával az adott tervező személyétől függetlenül egy elvárt minőséget biztosít, feltéve, ha a folyamat lépéseit be is tartják.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **A. SAMUEL, J. WEIR:** *Introduction to Engineering Design, Modelling, Synthesis and Problem Solving Strategies*, Elsevier, Oxford, 2005, ISBN 075 06 4282 3.
- [2] **GÁCS I.:** *Energetika*, url.: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_34_energetika_2/ch01.html, (2016. december 14.).
- [3] **G. PHIL, W. BEITZ, J. FELHUSEN, K.H. GROTE:** *Engineering Design, A Systematic Approach*, Third Edition, Springer-Verlag London, 2007.
- [4] **KAMONDI L., SARKA F., TAKÁCS Á.:** *Fejlesztés-módszertani ismeretek* url.: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0001_1A_G3_02_ebook_fejlesztes_modszertani_ismeretek/adatok.html (2016. december 13.).
- [5] **KAMONDI L.:** *A gépészeti tervezés módszerei*, url.: <http://docplayer.hu/12662666-A-gepeszeti-tervezes-modszerei.html>, (2016. december 14.).
- [6] **PATTANYÚS Á. G.:** *A gépek üzemtana*, Műszaki Tankönyvkiadó, Budapest, 1983, ISBN: 963 10 4808 X.
- [7] **ZSÁRY Á.:** *Gépelemek II.*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991, ISBN 963 18 3652 5.

VÁLTOZÁSOK A REPÜLŐGÉP MEGHAJTÁSOK TERÜLETÉN

CHANGES IN THE AREA OF AIRCRAFT PROPULSION SYSTEMS

HEGEDŰS Krisztián

BSc hallgató, krissz9403@gmail.com
Nemzeti Közszerológati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Üzemeltetés Alapképzési Szak H-5008, Szolnok, Killián út. 1

Kivonat: A repülőgépgép levegőben tartásához, vagyis a szükséges felhajtóerő létrehozásához, aerodinamikai kialakítás, és a tolóerő vektor létrehozása is szükséges. A tolóerő-vektor létrehozásához hidraulikus, elektromos, pneumatikus és mechanikai erő-átviteli rendszerek kombinációit alkalmazzák. [1] Ehhez elengedhetetlen a repülőgép sárkány- és hajtóműszerkezete. Ebben a cikkben a légijárműveken alkalmazott hajtóművek változásait fogom kifejezni. Különös tekintetet fordítok azokra a változtatásokra, amelyek az alternatív tüzelőanyagokkal való alkalmazásukkal kapcsolatosak.

Kulcsszavak: felhajtóerő létrehozása, hajtómű, alternatív tüzelőanyag

Abstract: To keep the aircraft in the air, we need proper aerodynamic shape and we have to create trust and lift. To create trust we can use the combination of different hydraulic, electronic, pneumatic and force-transmission systems. The airframe and propulsion system is essential for this. In this article I will introduce the changes of the propulsion system of the aircrafts. I will pay special attention the changes which are in connection with using alternative fuel in this system.

Keywords: create lift, propulsion system, alternative fuel

1. BEVEZETÉS

A repülőgépek egyik legmeghatározóbb része a tolóerőt létrehozó hajtómű. Ahogy teltek az évek jelentősen változtak kialakításuk, hatékonyabbak lettek és környezetkímélőbbek. Számos újítással találkozhatunk a repülőgép meghajtások területén, hiszen egyre nagyobb szerepet kap az a törekvés, hogy a hagyományos kőolaj alapú tüzelőanyagokat alternatív (esetleg megújuló) energiaforrásra cseréljük.

Így tehát a hajtóműveket működésüket tekintve két fő csoportra oszthatjuk:

- Hagományos üzemanyagot felhasználó;
- Alternatív üzemanyagot felhasználó hajtóművek.

A légijárművek meghajtására számos hajtómű típus áll rendelkezésre. A következő részben ezeket a hajtóműtípusok mutatom be.

2. REPÜLŐGÉPEK HAGYOMÁNYOS MEGHAJTÁSAI

2.1. Dugattyús motor

A dugattyús motorok gyakori megoldások a repülőgépek meghajtására. Az egyik legmegbízhatóbb hajtóműveknek számítanak. Élettartamuk hosszú, és viszonylag csendesen képesek működni. Mindezek mellett nagyon kevés egyéb berendezés kell a működésükhöz, így jelentős hely, és súly szabadul fel a légijárműveken. [1]

A dugattyús motorok lehetnek kettő vagy négyüteműek. A meghajtás általában légcsavarba továbbítja a mechanikai energiát (1. ábra), ami elegendő toló- illetve vonóerőt biztosít a repülőgép számára. [1]



1. ábra. Dugattyús motor légcsavarral, Forrás:

<http://aviation.stackexchange.com/questions/16047/turboprop-v-a-piston-prop>

A leggyakrabban használatos dugattyús motorok benzin-, vagy gázolaj és levegő keverékkel üzemelnek. A működési elvük az Otto-motor működési elvével egyezik meg. Először is azt kell megbeszelnünk mit is jelent az, hogy kétütemű, illetve négyütemű a dugattyús motor. Egy ütemnek tekintjük azt, amikor a dugattyú két holtponti állapota között elmozdul. Ha a négyütemű motorban lejátszódó folyamatokat röviden le szeretnénk írni, akkor a következő szerint tehetjük ezt meg: [1][2]

1. szívás;
2. sűrítés;
3. munkavégzés;
4. kipufogás.

A kétütemű motoroknál is megvan ez a négy folyamat, de a főtengely fele annyi utat jár meg, hogy végigcsinálja ezeket, mint a négyütemű motorok esetében. [2]

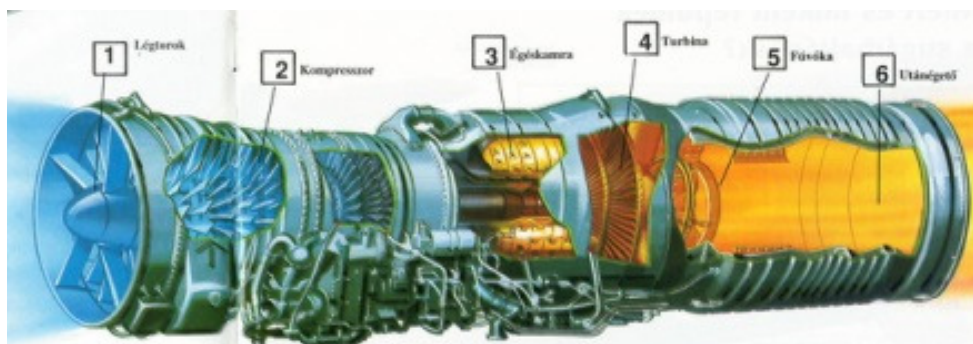
A dugattyús motorok mára nagy fejlődésen mentek keresztül, kijelenthető, hogy a környezetszennyezés terén is sokat fejlődött ez a hajtómű, hiszen jóval kevesebb káros anyagot bocsátanak ki, mint a korábbi verziójuk. [2]

2.2. Sugármeghajtású hajtóművek

A modern repülés elképzelhetetlen lenne sugárhajtómű nélkül. Ezek azok a repülőgép hajtóművek, melyek képesek voltak átlépni a hangsebességet, és így egy új korszakot hoztak a repülés történetébe.

Előnyük tehát, hogy képesek nagy tolóerőt létrehozni. A működési elve, hogy a motor egy kompresszort hajt meg, ami biztosítja a levegő égéskamrába történő juttatását, így biztosítva a tüzelőanyag elégetését. Az tüzelőanyag égetéséből létrejövő forró gázok tolóerőt biztosítanak a hajtóműnek, és így vele a repülőnek. [3]

Az első sugárhajtóművet Sir Frank Whittle és Hans von Ohain fejlesztette ki, még az 1930-as évek végén. Ekkor a hajtóművek, még sokkal nagyobbak, és környezetszennyezőbbek voltak. A korai években nem ritkán előfordult, hogy kigyulladtak és súlyos sérüléseket okoztak. Mára azonban az egyik legelterjedtebb hajtóműnek számít, legyen szó polgári vagy katonai repülésről. [3]



2. ábra. Sugárhajtómű, Forrás: <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Kepek/Utaneget.jpg>

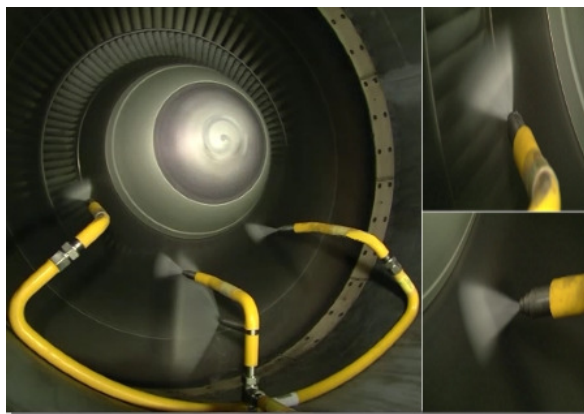
Hátrányként jelenik meg a sugárhajtóművek neve mellett, hogy viszonylag nagyméretűek, ezért túl nagy helyet foglalnak a repülőgépekben, különösen a pilóta nélküli légijárművekben. Üzemeltetésük drága, és a környezetbe kibocsátott káros anyagok terén is az élmezőnybe tartozik. Emellett üzemeltetéséhez nagyfokú szakértelem szükséges, és kiforrott technológia. [1]

A sugárhajtóművek tehát a legelterjedtebb hajtóművek a repülésben. Számos pozitív tulajdonsága mellé viszont szinte ugyanannyi negatív tulajdonság is társítható. A közeljövőben azonban biztos vagyok benne, hogy sikerül kiküszöbölni ezeket a problémákat, mivel ezeket a hajtóműveket a mai napig fejlesztik.

2.3. A tüzelőanyag csökkentésének megoldásai

A tüzelőanyag csökkentésében jelentős sikert ért el a repülés is. Ez elsődlegesen az elektromos energia több területen való alkalmazásának tudható be. A legfontosabb repülőgéprendszerek, amelyek villamosítása jelentősen csökkenthetné a költségeket, az elsődleges kormányvezérlő rendszer hidraulika munkahengereinek valamint a légsavak villanymotorral történő működtetése. Ezen rendszerek villamosítása még fejlesztés alatt áll, de talán pár éven belül mindez megvalósíthatóvá válik a civil és katonai repülésben egyaránt [4].

Az elektromosságon kívül különleges eljárásokkal is találkozhatunk, amelyek a gazdaságosabb repülést igyekeznek megvalósítani. Ilyen például a Pratt & Whitney által kifejlesztett EcoPower® Engine Water Wash System. A rendszer lényege, hogy a normál használat során keletkező szennyeződések lemosásak a hajtómű kompresszorlapátjairól, így tökéletesebben fog lezajlani az égés. Ezt a folyamatot évente legalább kétszer érdemes végrehajtani. A technológiával körülbelül 1,8%-kal lesz kisebb a repülőgép tüzelőanyagfogyasztása, illetve a gázhőmérsékletet is csökkenthetjük 15-30 °C-kal. [5]



3. ábra. EcoPower Engine Water Wash System Forrás: http://www.ecopowerenginewash.com/images/fanspray_multiview.jpg

3. REPÜLŐGÉPEK MEGHAJTÁSA ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOKKAL

Az alternatív tüzelőanyagok megjelenése a repülésben együtt jár számos változással a hajtóművekben és a tüzelőanyag-rendszerekben. A megfelelő repülésbiztonság biztosítása elsődleges szempont ezen a területen.

Ahhoz, hogy megjelenjen egy új tüzelőanyag, mint repülőgép hajtóanyag, számos teszten kell megfelelnie. Vizsgálunk kell milyen égési paraméterekben tér el a hagyományos tüzelőanyagoktól, illetve milyen reakciók jöhetnek létre alkalmazásuk során.

A következő fejezetekben az eddig elért megoldásokat mutatom be összefoglaló módon.

3.1. Változások a hagyományos hajtóműtípusokhoz képest

A változások mértékét olyan alapvető szempont befolyásolhatják, mint például az alternatív tüzelőanyag halmazállapota, vagy annak égési tulajdonságai. Ezek miatt a legtöbb változtatást nagy valószínűséggel az égőtérben kell majd megvalósítani.

A bioüzemanyagok nem igényelnek hatalmas átalakítást az égőtérre nézve. A környezetvédelem tekintetében is fontos, hiszen CO₂ kibocsátásuk kisebb, mint a hagyományos tüzelőanyagoké. Persze találkozunk negatív tulajdonságokkal is. A biomassza elégetése esetén a keletkező gáz teli van apró részecskékkel, amik rongálhatják az égőtérházat. Tervezéskor, és üzemeltetéskor erre különös figyelmet kell fordítani. [6]

A hidrogén alkalmazására, mint tüzelőanyag, már az 1800-as évek elején is volt példa. A fosszilis energiahordozóktól való elszakadás miatt újra előtérbe került ennek felhasználása. Ennek elsődleges oka lehet a magas fűtőértéke, hiszen ez elérheti akár a 120 MJ/kg-ot is (kerozin fűtőértéke kb. 43 MJ/kg). Az égőtérben való alkalmazására nézve azonban fontos következtetéseket kell levonnunk. [7]

A hidrogén gyorsabban ég, mint a hagyományos tüzelőanyagok (ez igaz a metánhoz és a propánhoz viszonyítva is). Ezenkívül az égési hőmérséklete elérheti a 2300 Kelvint, ami súlyosan károsíthatja az égőtér szerkezeti egységeit, illetve a turbinát is, hiszen nem tudjuk kellően lehűteni a gáz hőmérsékletét. Megoldás természetesen akad, a kérdés, hogy mennyire éri meg olyan speciális berendezéseket beépítenünk, ami megóvjá a tüzelőanyag-rendszert. Ez ugyanis többletsúlyt jelenthet, ami rontja a hajtómű és így vele együtt a repülőgép hatékonyságát [8].

Pozitív és negatív tulajdonságaihoz kell sorolnunk, hogy levegő-hidrogén keverék széles tartományban gyúlékony. Pozitív, mert gyújtása egyszerű, lángkialvása kisebb az esély. Másfelől veszélyes, hiszen nagy mennyiségű (esetleg tiszta) oxigénnel keveredve robban, ami egy esetleges szivárgás esetén katasztrófához vezethet. Mivel kevés energia kell a gyújtásához, ezért fokozott figyelmet kell fordítani arra, hogy ne következzen be korábban a folyamat [7].

Mindezekre a problémákra kell megoldást találniuk a kutatóknak, ha azt szeretnék, hogy biztonságosan tudjuk alkalmazni ezeket az anyagokat a repülőgép fedélzetén.

3.2. Bio- és szintetikus tüzelőanyaggal működő hajtóművek

A bioüzemanyagok terén a legújabb kutatások talán a széndioxid felhasználása irányába tolódik. Egyelőre ezzel a lehetőséggel csupán egy vállalat, a kanadai Carbon Engineering foglalkozik. Az elgondolás azért is hangzik jól, mert ezzel a technológiával csökkenthetnénk a levegőben üvegházhatást okozó széndioxid tartalmát, így a globális felmelegedés is redukálható lenne. Más kérdés, hogy hosszabb távon mennyire egészséges, ha túl kevés

széndioxid marad az atmoszférában, hiszen ezek a gázok a Földön tapasztalható éghajlatot nagyban meghatározzák [9].

Számos kedvező hatásuk mellett sajnos a fűtőértékben alul maradnak a hagyományos tüzelőanyagokkal szemben. Emiatt a repülőgépeken nem igazán alkalmazott hajtóanyag, hiszen a repülőgépek méreteit kellene növelnünk (és ezzel együtt a tömegét), hogy tudjuk hol raktározni az ugyanakkora hatótávolsághoz szükséges üzemanyag mennyiséget [10].

Az viszont elmondható, hogy a bioüzemanyagokkal ellentétben, a szintetikus üzemanyagok felhasználása elterjedt a repülésben. Az amerikai légierő már 2006-ban a B-52-es bombázó repülőgépén megkezdte ezeknek a hajtóanyagoknak a tesztelését. A kísérlet sikerrel zárult: a repülőgép 50%-os szintetikus keverékkel képes volt végrehajtani a feladatát. Ezt az elkövetkező években a többi rendszerben lévő légijárművén is ellenőrizte, és azok 99%-án ugyancsak sikerrel végződött. A katonai mellett a polgári repülésben is megjelent a szintetikus tüzelőanyag iránti kereslet. A Lufthansa 6 hónapos tesztidőszak alatt vizsgálta egy ugyancsak 50%-os keverékkel működő A-321-es utasszállító repülőgép működését. 2010 szeptemberében egy Dél-Afrikai szintetikus tüzelőanyagokat előállító cég 100% szintetikus hajtóanyagával sikerült repülést végrehajtania egy Boeing 737-esnek. Ezek az eredmények mind azt mutatják, hogy a szintetikus tüzelőanyagoknak igenis helye van a repülésben [10] [11].

3.3. A hidrogén és a kriogén gázos meghajtások

A számos negatív tulajdonság ellenére a hidrogén üzemű hajtóművek nagy figyelmet kapnak. Több terv is készült ennek megvalósítására.

Már az 1980-as években elkezdődött a repülőgépeken való alkalmazása. A Szovjetunió a Tu-154-es típusú légijárművének a tolóerőt egy hidrogén üzemű erőgép is biztosította [12].

A hidrogén jövőbeli szerepét vélhetően az üzemanyagcellák fejlődése határozza meg. Ezek olyan szerkezetek, melyek hidrogénből képesek elektromos áramot előállítani.

A cseppfolyósított hajtóanyagok alkalmazásával hosszú időre megoldható lenne az tüzelőanyag probléma. Elsősorban a hidrogén kriogén állapotban való elégetésére vannak törekvések. Ennek megvalósítása közben számos nehézségekbe ütközünk, ami a hidrogén rossz tárolási tulajdonságainak tudható be. Itt elsősorban a rossz térfogatsűrűségére illetve rendkívül alacsony (-262 °C) olvadási pontja kell gondolnunk.

Repülőgépek esetében alkalmazható még a propán és a bután. Sűrűségük miatt tárolásuk nem igényel nagyobb tartályokat, így repülőgép méreteket sem (csupán pár százalékkal kellene növelnünk ugyanakkora mennyiség esetén), és a hajtóművet sem kell teljesen átalakítanunk hozzá, csak az égőtér igényel kisebb változtatásokat. Annál nagyobb szerkezeti átdolgozást igényel maga a hagyományos tüzelőanyag-rendszer, hiszen a gázok szállítását, tárolását, felhasználását tulajdonságaik miatt más berendezésekkel kell megoldani. Ez magával vonzza a földi kiszolgálás berendezéseinek módosítását is. Jó hír viszont, hogy cseppfolyósításukhoz nem kell olyan hideg környezetet előállítanunk, mint a hidrogén esetében (propán forráspontja: $-42,1\text{ °C}$; bután forráspontja: $-0,5\text{ °C}$) [13] [14].

A propán és a bután alkalmazására a hazánkban is rendszeresített MI-8MT típusú helikopteren is próbálkoztak. A teszt sikerrel zárult: a helikopter fogyasztása körülbelül 2%-kal csökkent, és így hatótávolsága is megnövekedett. Emellett a polgári repülés tekintetében is dolgoznak egy teljesen gáz üzemű repülőgép kifejlesztésén. A TU-204-es utasszállító kriogén gázzal való meghajtására már terv is készült.

3.4. Elektromos hajtóművek

Az elektromos áram, mint energiaforrás egyre jobban előtérbe kerül manapság. Ez az energiaforrás nem csak a meghajtásra szolgál, hanem a különböző fedélzeti rendszerek működtetésére is. Ennek köszönhetően a korszerű repülőgépek sokkal hatékonyabban képesek működni, és kevesebb káros anyagot juttatnak a környezetbe [4].

A legfontosabb repülőgéprendszerek, amelyek villamosítása jelentősen csökkenthetné a költségeket, az elsődleges kormányvezérlő rendszer hidraulika munkahengereinek valamint a légcsavarok villanymotorral történő működtetése. Ezen rendszerek villamosítása még fejlesztés alatt áll, de talán pár éven belül mindez megvalósíthatóvá válik a civil és katonai repülésben egyaránt [4].

Az elektromos energia fedélzeten történő előállításakor két fő irányról beszélhetünk: napenergia és/vagy üzemanyagcellás módszer.

A napenergia és a repülés egyik legnagyobb közös eredményét a Solar Impulse 2 hozta meg. A gép ugyanis kizárólag ennek az alternatív energiaforrásnak a felhasználásával repült, és a tervezési cél, a Föld megkerülésének képessége volt. A repülőgép sikeresen befejezte világkörüli útját, és 2016. július 26-án visszatért indulási pontjára [14][15].

Az üzemanyagcellák felhasználási területe széleskörű, így természetesen már a repülésben is megjelent. A legtisztább energiaforrásnak tartják, ugyanis a keletkező károsanyag- és zajkibocsátása elenyésző, emellett nagyon hatékony [3].

A legelterjedtebb változata a hidrogén üzemanyagcella. Röviden összefoglalva a működési elvét: az üzemanyagcella áramot állít elő hidrogénből és oxigénből, melynek mellékterméke a víz. A hidrogén persze veszélyes anyag, melyek tárolása nem egyszerű. Mégis megéri vele fáradozni, hiszen a jelenleg ismert energiatárolókat az üzemanyagcella messze túlszárnyalja. Nem is csoda, hiszen az energiahatékonysága elérheti a 85%-ot is [3][16].

Repülésben az üzemanyagcellás meghajtásban igazán nagy áttörést 2015 októbere hozta, amikor Stuttgartban a DLR bemutatta HY4 névre keresztelt repülőgépét. A meghajtása hasonlít a Diamond HK36-hoz, itt is egy lítium-ion akkumulátor segítségével száll fel, majd a levegőben már nem használja. A 80 kW-os elektromotorja révén 200 km/órás sebességet is képes elérni, de utazósebessége 140 km/óra értékre tehető. Igencsak hosszú hatótávolsággal rendelkezik, hiszen 750-1500 kilométeres távolságra is el lehet jutni vele. A légijármű legnagyobb eredménye, hogy már négy embert is képes szállítani, ami ebben a kategóriában egyedülálló [14].

4. EGYÉB MEGHAJTÁSI MÓDOK

4.1. Háromáramú sugárhajtómű

A sugárhajtóművek elsődleges fejlesztési iránya egyértelműen a fogyasztás csökkentése, valamint a környezetszennyezési értékének minimalizálása.

A fogyasztás csökkentése, a környezetszennyezés minimalizálása, és a hatótávolság növelése szorosan összekapcsolódik egymással. Ha a tüzelőanyag felhasználását tudjuk csökkenteni, akkor a hatótávolság is nagyobb lesz, hiszen a repülőgép jelentős súlytól képes megszabadulni, és így a környezetre se lesz annyira káros hatással a hajtómű.

A tudósok nagy áttörést értek el a háromáramú sugárhajtómű megalkotásával. Mindez azt jelenti, hogy a levegő nem egy vagy két, hanem három helyen áramlik a hajtóműben. Egy levegőáram közvetlenül az égőtérbe menne táplálni az égést, egy a magon keresztül áramlik, és egy az utánégető hűtését fogja elősegíteni. Előnyük, hogy nagy sebességen a fogyasztást drasztikusan lehet csökkenteni, ebből kifolyólag növelhetjük a repülési távolságot, illetve csökkenthetjük a repülőgépek méreteit [17] [18].

A projektben a három nagy hajtóműgyártó cég vett részt, a GE Aviation és a Rolls-Royce és a Pratt&Whitney. A program neve, amelynek keretén belül ezt a következő generációs hajtóművet kifejlesztették a GE Aviation részéről az ADVENT (ADaptive Versatile ENgine Technology) a Rolls Royce részéről a HEETE (Highly Efficient Embedded Turbine Engine) névre hallgat. A Pratt&Whitney kis lemaradásban van, ők az új háromáramú sugárhajtóműjük első tesztjét 2016-ra tervezik [17] [18].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben összefoglaltam a légijárművek leggyakrabban használt hajtóműveit. Először is a hagyományos hajtóműtípusokat ismertettem, azon belül is a dugattyús motort és a sugárhajtóműt. Ezek a legelterjedtebb meghajtási módok a repülőgépeken. Szó volt arról is, hogy milyen módszerekkel tudjuk ezek fogyasztását csökkenteni. Megállapítható, hogy a modern hajtóművek sokkal hatékonyabban működnek ezeknek az új fejlesztéseknek a használatával.

Ezek a fejlesztések azonban nem elegendők, ugyanis előbb, vagy utóbb a Föld kőolajkészletei kifognak, így találnunk kell egy új alternatív energiaforrást. A hajtóművek fejlesztési irányait is ezek az anyagok fogják meghatározni.

Alternatív tüzelőanyagokkal, már találkozhatunk a repülésben. A cikkben bemutatásra került néhány típusuk ezeknek. Jól látható, hogy tulajdonságaik eltérőek a kerozin, vagy repülőbenzinhez képest, ami hátráltatja alkalmazásukat a légijárművek fedélzetén.

Számos kísérlet zajlik azonban ezzel kapcsolatban, hiszen nem csak a repülést, de a jövőnket alapjaiban meghatározó kutatási területről van szó.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BÉKÉSI BERTOLD, BOTTYÁN ZSOLT, DUNAI PÁL, HALÁSZNÉ DR. TÓTH ALEXANDRA, MAKKAY IMRE, PALIK MÁTYÁS, RESTÁS ÁGOSTON, WÜHRL TIBOR:** *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*, Budapest: Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 321 p., ISBN: 978-615-5057-64-9; 2015.
- [2] **BAGÁNY MIHÁLY:** *Belső égésű motorok*, Egyetemi Tananyag, Typotex Kiadó, ISBN 978-963-279-656-7.; 2011.
- [3] **BÉKÉSI BERTOLD, JUHÁSZ MÁRTA:** *Pilóta nélküli légijárművek energia forrásai*. Economica (Szolnok), 2014/1, pp. 92-100.
- [4] **SZEGEDI PÉTER, ÓVÁRI GYULA:** *Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai*; Hadmérnök V. évfolyam. 4. szám, pp. 16-37, 2010.
- [5] **ECOPower:** *The EcoPower System* (online) URL: <http://www.ecopowerenginewash.com/EcoPower.php> (2017.04.30.)
- [6] **MARTIN KAUTZ, ULF HANSEN:** *The externally-fired gas-turbine (EFGT-Cycle) for decentralized use of biomass*, University of Rostock, Institute of Energy Systems, Rostock, Germany, 2007.
- [7] **S. KATO, N. NOMURA:** *Hydrogen gas-turbine characteristics and hydrogen energy system schemes*, Department of Mechanical Engineering, Mie University, Japan, 1997.
- [8] **BME GÉPJÁRMŰVEK TANSZÉK:** *A hidrogén felhasználása belsőégésű motorokban*, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, Hungary, 2008.
- [9] **ROZOVICSNÉ FEHÉR KRISZTINA:** *Alternatív üzemanyagokhoz, meghajtásokhoz kapcsolódó fejlesztések a 2015-ös évben*; In: Békési Bertold, Szilvássy László (szerk.); Repüléstudományi Szemelvények. Szolnok: Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, pp. 191-204.; ISBN:978-615-5057-70-0, 2016.
- [10] **BAKU LÁSZLÓ:** *Alternatív energia*, Szakdolgozat, Nyíregyházi Főiskola, 2013.

- [11] **KERRY REALS:** *Sasol conducts first 100% synthetic fuel flight*, URL: <https://www.flightglobal.com/news/articles/sasol-conducts-first-100-synthetic-fuel-flight-347684/> (2016. 11. 26.)
- [12] **ÓVÁRI GYULA:** *Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok I.* Haditechnika 2014:(2) pp. 5-10., 2014.
- [13] **ÓVÁRI GYULA:** *Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok II.* Haditechnika 2014:(3) pp. 5-10. , 2014.
- [14] **ROZOVICSNÉ FEHÉR KRISZTINA:** *Gazdaságos és környezetbarát üzemeltetés lehetőségei a repülésben*, Műszaki Katonai Közlöny XXVI.:(2.) pp. 152-166., 2016.
- [15] **BERECZ VALTER:** *Megkerülte a Földet a kizárólag napenergiával hajtott repülőgép*, URL: <http://24.hu/kulfold/2016/07/26/megkerulte-a-foldet-a-kizarolag-napenergiaval-hajtott-repuloget/> (2016. 11. 26.)
- [16] **FÜGGETLEN ÖKOLÓGIAI KÖZPONT ALAPÍTVÁNY:** *Üzemanyagcella*, (online) URL: <http://www.foek.hu/korkep/enhat/uzemanyagcella/uzemanyagcella.html#bemutatas> (2016.11.26.)
- [17] **HADITECHNIKAI KERESZTAL:** *Készül a jövő hajtóműve*, URL: <http://htka.hu/2011/06/09/keszul-a-jovo-hajtomuve/>
- [18] **HADITECHNIKAI KERESZTAL:** *Készül a jövő sugárhajtóműve*, URL: <http://htka.hu/2013/03/01/keszul-a-jovo-sugarhajtomuve/>

CSALÁDI VÁLLALKOZÁSOK PÉNZÜGYI MAGATARTÁS FORMÁI ÉS A GENERÁCIÓVÁLTÁS

FINANCIAL BEHAVIORS OF FAMILY BUSINESSES AND GENERATION TRANSITION

ILYÉS Csaba¹, ILYÉSNÉ MOLNÁR Emese²

¹Ph.D., főiskolai docens, ilyes.csaba@uni-bge.hu

¹Budapesti Gazdasági Egyetem, Pénzügyi és Számviteli Kar, H-1149 Budapest, Buzogány u. 10-12.

²Ph.D., egyetemi docens, ilyesnemolnar.emese@uni-bge.hu

²Budapesti Gazdasági Egyetem, Külkereskedelmi Kar, H-1165 Budapest, Diósy Lajos u. 22-24.

Kivonat: A publikációban a családi vállalkozások típusait, főbb jellemzőit és pénzügyi magatartásformáit tekintjük át. Ehhez a háttérrel a Budapesti Gazdasági Egyetemen végzett Intergenerational Succession in SMEs Transition (INSIST) [3, 4, 5] projekt biztosította. Kutatásunk során a családi vállalkozások generációváltásánál felmerülő pénzügyi és jogi problémák, feladatok feltérképezésével foglalkoztunk. A cikk keretén belül ennek a kutatásnak az eredményeiből mutatunk be néhány fontosabb részt.

Kulcsszavak: Pénzügy, családi vállalkozások, generációváltás

Abstract: In this publication we focus the main characteristics (dimensions) of financial behaviour of family businesses. For this the Intergenerational Succession in SMEs Transition (INSIST) [3, 4, 5] project which was implemented at the Budapest Business School provided background. During our research we are addressing the financial and legal problems and tasks that emerge in the generation transition of family businesses. In this paper we present some results of this research.

Keywords: Finance, family business, generation transition

1. BEVEZETÉS

A pénzügyek minden vállalkozás életében igen fontos szerepet játszanak, hiszen a sikeres működés alapja a stabil pénzügyi helyzet, a folyamatos likviditás és a megfelelő tőkeellátottság.

A pénzügyi tevékenységgel kapcsolatos nemzetközi szakirodalomban számos cikk, tanulmány érhető el. Ezzel szemben ilyen jellegű magyar nyelvű cikkek csak az utóbbi időben jelentek meg. Ennek egyik oka, hogy a vállalkozások családi és nem családi jelleg szerinti csoportosítása kevésbé használatos a magyar elemzésekben.

A családi vállalkozásokban, különösen a kisebb méretű cégek esetén jellemző, hogy keverednek a vállalkozás és a család pénzügyei.

Egy családi vállalkozás pénzügyi tűrőképessége és alkalmazkodóképessége sokkal nagyobb a többi versenytársához képest. A jövedelmezőséget egy családi vállalkozásnak is objektíven meg kell tudnia mérni. A vállalat helyzetét a rendelkezésre álló mérlegek és eredménykimutatások alapján lehet értékelni, nagyobb vállalatok esetében pedig cash flow kimutatások és a saját tőke változásairól készített kimutatások alapján.

Egy családi vállalkozás sok olyan előnnyel és tartalékkal indul versenybe a többi „átlagos” vállalkozással szemben, melyek megalapozzák létjogosultságukat a piacon. A családi vállalkozások sokban különböznek a szokásos érdekeltségi szituációkban működő társaiktól. Olyan rejtett tartalékokról és erőforrásokról, potenciálokról és előnyökről beszélhetünk melyek a családok belső szerkezetéből és viszonyaiból öröklődnek át a vállalkozásba.

Egy korlátozott felelősségű társaság és egy részvénytársaság esetében kizárólag a betöltött tisztségek után járó javadalmazás vagy a kifizetett osztalék formájában lehet jövedelemhez jutni. Ha egy családtag nem tagja a vezetőségnek, csak akkor kaphat jövedelmet, ha a vállalat nyereséget termel, és csak a pénzügyi év végén. Eladás esetében az árat világosan meg kell határozni, a vételár részletekre történő lebontása szintén jövedelemforrás lehet a tulajdonos számára. Egyéb vállalat típusok esetében a pénzügyi év közben is ki lehet vonni a tőkét, de mindenképpen figyelembe kell venni a gazdasági társaságokról szóló törvény és az alapító okirat rendelkezéseit.

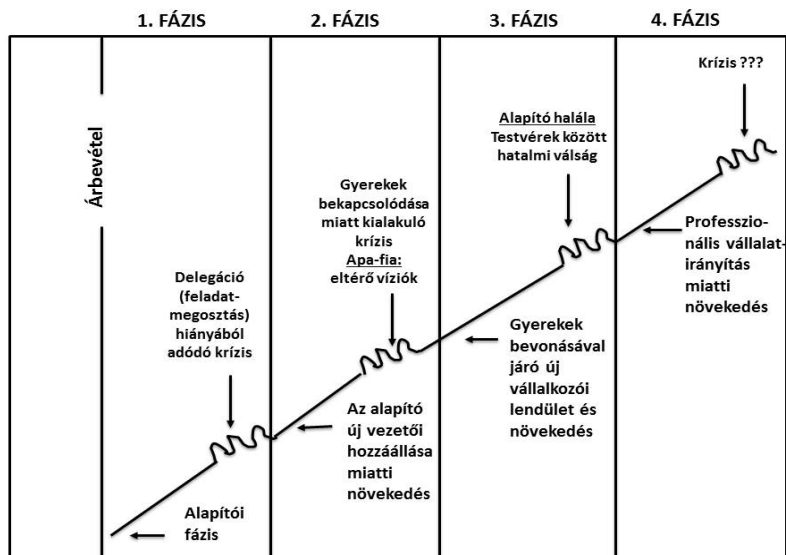
2. A CSALÁDI VÁLLALKOZÁS JELLEMZŐI

A családi vállalkozás-specifikus életciklus modellek sorában a Dodero [1, 2] munkássága nyomán született megközelítés a családi vállalkozás életének négy fázisát azonosítja - alapítás, alapítónak köszönhető növekedés, második generáció belépéséhez kapcsolódó fellendülés, professzionális vállalatirányítás – kiemelve az egyes fázisok közötti átmeneti időszakot jellemző kihívásokat és krízistényezőket, amelyeket tudatos tervezéssel menedzselni lehet.

- Az első szakasz a modell szerint az alapítás fázisa, ahol az alapító, mint magabiztos és nagy teherbírású vállalkozó felismeri az üzleti lehetőséget, és hajlandó minden erőfeszítésével kitartani üzleti ötlete megvalósítása mellett. Ebben az életciklus szakaszban az alapító rátermettsége döntő fontosságú, ő hozza meg tulajdonos-menedzserként a döntéseket, amelyek sok esetben intuíción alapuló döntések. Az első válságszituáció akkor következik be, amikor az alapító segítségével a vállalkozás eljutott a növekedés azon szintjére, ahol már szükséges a feladatok egy részének átruházása, azaz megjelenik a delegálás iránti igény az értékesítés és termelékenység növelés érdekében. Amennyiben az alapító képes jó vezetőként fellépni, hatékony kommunikációval mozgósítani a munkavállalókat a családi cég víziója érdekében, akkor újabb növekedési pályára tudja állítani a vállalkozását.
- Az 50-es éveiben járó alapító a következő krízissel akkor kell, hogy szembenézzon, amikor a gyerekei belépnek a családi vállalkozásba, akik vagy nem elég felkészültek, vagy diplomával rendelkező ambiciózus fiatal vállalkozóként bírálják a szülők vezetői stílusát és vállalkozói tevékenységét. A generációs különbségek feloldása, a gyermekek és szülők közötti hatékony kommunikáció és a szerepek tisztázásán keresztül hozzájárulhat a következő életciklus szakasz sikeres megéléséhez, amelyben a vállalkozás növekedését a gyermekek vállalkozói lendülete táplálja.
- A következő krízishelyzetet az alapító halála nyomán kialakult, testvérek között zajló hatalmi harc kapcsán éli meg a családi vállalkozás. Ezen válsághelyzet elkerülésében segít, ha a vállalkozás alapítója utódlási terv formájában rögzíti a vezetői szerep átadás módját.
- A negyedik életciklus szakasz a professzionális vállalatirányítás fázisa, ahol a külső (professzionális menedzser) vagy a belső (családtag vagy egyéb vállalatban belül kinevelt vezető) utód által kialakított, illetve bevezetett irányítási technikák segítségével sikerül a hatalmi játszmákat megszüntetni. A modellben az utolsó krízis teoretikus, ugyanis abban az esetben merül fel, ha a családtag tulajdonosok és a menedzsmenst között konfliktus alakul ki, azaz a megbízó-ügynök probléma érvényesül az inadekvát kommunikáció és kontroll gyakorlat révén. Az életciklus-modellt az 1. számú ábra ismerteti.

A családi vállalkozások elvi felépítése nem különbözik a nem családi vállalkozásoktól. Sok kérdés merül fel azonban a családi vállalkozások esetén. A szervezeten belüli elszámolás elszámoltathatóság, kompetenciák, értékelés kérdései nem mindig tisztázottak. Egy egyszerű

kérdést vessünk fel! Ki a családi vállalkozás tényleges tulajdonosa. Sokszor találkozunk azzal a problémával, hogy a családi (bizalmi viszonyok) mellett a valós és a jogi tulajdonos eltérő személy. Esetleg a szülő vagy családtag (valódi vagy vélt) tekintélye befolyásolja a vállalkozás vezetőit az utódlást követően is. Pl.: az apa beleszól a cég vezetésébe miután a fia átvette a cég irányítását. Ebben a problémakörben felmerül a tényleges és jogi tulajdonosok értékelése: kinek a teljesítménye adja a vállalkozás valódi értékét?



1. ábra. A családi vállalkozások életciklus modellje (Forrás: saját szerkesztés [1, 2] alapján)

Egy családi vállalkozás nagy értéke, hogy a vállalkozás tagjai jellemzően lojálisak és elkötelezettek a vállalkozással szemben. Ez olyan pozitív hatás, melynek megléte nem megkérdőjelezhető. Ennek mérése külön feladat lehet a vállalkozás potenciális teljesítőképessége, vagy más hasonló vállalkozásokkal történő összemérése esetén! Ez a pozitívum azonban veszélyeket is rejt magában. Egy ilyen elkötelezett helyzetben egy-egy alkalmazott számára nem feltétlenül szükséges a feladatköre részletes leírása, hiszen a dolgozókról feltételezhető (családtag-dolgozó) a proaktív viselkedés és szemlélet. Így a más vállalkozásokat jellemző jogi (pl.: munkaszerződések) szabályozást a családi vállalkozás nem feltétlenül érzi szükségesnek, vagy olyan fontosnak. Gyakoriak a formalizált belső szerződések hiánya. Ez abban a pillanatban jelenthet problémát, amikor egy idegen veszi át valamely családtag helyét a vállalkozásban, a korábban nem szükségesnek ítélt szerződéses szabályozás azonnal szükségessé válik. Másik kérdés a számonkérés és számon kérhetőség. A proaktív viselkedést feltételezve, egy olyan szituációban ahol a felelősöket (nem a büntetés, hanem a hibafeltárás) céljából szeretnénk megtalálni, egy szerződéses nem jól szabályozott környezetben nehéz beazonosítani. Így az sem egyértelmű, hogy kinek a feladata volt az a folyamat, ahol a hiba keletkezett. Sokszor ez maga a hiba: nincs igazi felelőse a folyamatnak. Nem családtag dolgozók esetén hátrányos megkülönböztetés érheti a dolgozókat a családtagokkal szemben, ha a viszonyok nem egyértelműen szabályozottak. Így megállapítható, hogy a szerződéses és belső viszonyok formalizálásának igen nagy a jelentősége.

Egy családi vállalkozás sok olyan előnnyel és tartalékkal indul versenybe a többi „átlagos” vállalkozással szemben, melyek megalapozzák létjogosultságukat a piacon. A családi vállalkozások sokban különböznek a szokásos érdekeltségi szituációkban működő versenytársaiktól. Olyan rejtett tartalékokról és erőforrásokról, potenciálokról és előnyökről beszélhetünk melyek a családok belső szerkezetéből és viszonyaiból öröklődnek át a vállalkozásba. A családtagok egymás iránti lojalitása, hűsége és bizalma egy-egy ilyen vállalkozásnál sokszor természetes dolog és sem pénzt, sem energiát nem kell erre áldozni. A

vállalati kultúra szinte azonnal érzékelhető, és nem kell azt formalizálni. Ennek olyan előnyei vannak, mint például:

1. Egy családtag sokszor kevesebért hajlandó elvégezni ugyanazt a feladatot, mely a vállalkozásnak költségelőnyt jelent, még akkor is, ha ez hosszú távon nem egészséges jelenség.
2. A vállalkozásban résztvevő családtagok jellemzően eltökéltebbek és kitartóbbak egy probléma megoldása mellett, mint egy családon kívüli fél (ez egyébként veszélyeket is rejt magában, sokszor olyan helyzetben is erőn felül kitartanak, ahol már üzleti szempontból nem kellene).
3. általában a vállalkozást jellemzi a családtagok egymás iránti hűsége és lojalitása, így az üzleti titkok és érdekek a családon belül, azaz a cégen belül maradhatnak.
4. A családtagok jellemzően a család (így a cég) előmenetelét részesítik előnyben a pillanatnyi érdekeik felett, így a hosszú távú fenntarthatóság biztosított.
5. Egy-egy feladatra több és alaposabb munkát hajlandó szánni egy családtag, mint egy külső fél.
6. Előkerülhet a családon belüli pénzügyi fegyelmezetlenség kérdése, azaz egy nem feltétlenül rosszhiszemű tőkeelvonás.
7. A családi és a vállalkozási kassza összeolvadása.
8. A túlzott bizalom kérdése, azaz egy nem hozzáértő családtag pozícióban tartása, mert senki nem akarja (tudja) megmondani neki, hogy alkalmatlan a feladatra.

Ezek alapján látható, hogy egy családi vállalkozás pénzügyi tűrőképessége és alkalmazkodóképessége sokkal nagyobb a többi versenytárhoz képest. Fel kell hívni azonban a figyelmet arra, hogy a jövedelmezőséget egy családi vállalkozásnak is objektíven kell mérnie. Tekintsünk most el azoktól az esetektől, amik pénzben nehezen mérhető értéket jelentenek. Például az idő szabadabb beosztása, vagy az önálló munkavégzés és értékteremtés öröme vagy erkölcsi hozzáadott értéke. Így ha pusztán pénzügyi oldalról nézzük a családi vállalkozás jövedelmezőségét, úgy két fontos jövedelmet kell megkülönböztetnünk. A családi vállalkozások gyakori problémája (mely egyébként a KKV szektort is jellemzi), hogy a tulajdonos és a management szorosan összefonódik, vagyis a tőkebefektető és a dolgozó nem különíthető el egymástól. Természetesen ettől még kétféle jövedelmet realizálnak, hogy ez egy bankszámlán jelenik meg és látszólag egy tevékenységből származik. Az egyik a tőkejövedelem, mely egy hasonló kockázatú befektetés jövedelmét kell, hogy jelentse, valamint a munkajövedelem, azaz amit a vállalkozó a munkájáért kap. Ha a vállalkozó összes jövedelméből levonnánk a tőkejövedelmeit, vajon még mindig versenyképes jövedelmet kapna? Egyszerűsítve a dolgot, a családnak annyi pénzt kell tudni megtermelni a vállalkozásból, mint amennyit a család tagjai szakképzettségüknek és tapasztalatuknak megfelelő munkakörben egy idegen vállalkozásnál meg tudnának keresni, valamint a vállalkozásukba befektetett tőkéik hasonló vállalkozásuknak megfelelő kockázatú befektetésekbe történő befektetésből realizálható kamatainak összege. Ha ettől kevesebb jut a családnak, akkor a vállalkozást nem éri meg pénzügyileg elindítani vagy üzemeltetni.

Felmerül még egy fontos kérdés! Vajon a családtag bére a vállalkozás jövedelme vagy költsége? A család jövedelme vagy az egyén jövedelme? A közgazdasági és számviteli álláspont szerint, ezt a munkakör idegenekkel való feltöltése esetén kifizetendő bérrel összehasonlítva lehet megállapítani. Először is tisztázni kell, hogy a családtagnak kifizetett bér, a vállalkozás költsége és álláspontom szerint nem a család, hanem az egyén jövedelme, így a vállalkozásnak külön ezzel kapcsolatos elszámolnivalója nincs, kivéve, ha tudja, hogy a családtag munkakörét egy „külsős” más jövedelemért töltené be. Ha a családtag többet kap, mint amennyit a munkakörben szokásosan fizetni szoktak, úgy a vállalkozás extra költségekkel működik, a család viszont extra jövedelemhez jut. Ha a családtag kevesebb

pénzért vállalja ugyanazt, ez az egyik pozitív potenciál a családi vállalkozásban, úgy a vállalkozást költségelőnyhöz juttatja a versenytársakkal szemben, a család bevételei viszont csökkennek, hiszen az egyén lehetőségeihez képest kevesebb pénzt visz haza a vállalkozás miatt.

A jövedelmezőség kérdése sok egyéb kérdést is felvet, például vegyes (családi és nem családi együtt) összetételű vállalkozások esetén, hogyan tudjuk az analitikákban és kimutatásokban szétválasztani a család teljesítményét a vállalat egészétől. Ennek az is a jelentősége, hogy a családi pozitív szinergiák csak ezeken a teljesítményeken érvényesíthetők, így pl. a korábban említett költség és munkaidőelőnyök csak a vállalkozás egy részén jeleníthetők meg, hiszen a „külsősöktől” nem elvárható az erőn felüli lojalitás. Állandó jelenség és potenciális probléma, a családi kassza és a vállalati kassza összefonódása. Ennek óriási kára lehet mind a család és/vagy a vállalkozás életére. A családi vállalkozásokban a pénzügyi fegyelemnek még a többi vállalkozáshoz képest is nagyobb jelentősége van. Nem engedhető meg az utalványozás vagy megfelelő dokumentáció nélküli pénzmozgás, mert nem lesz átlátható a vállalkozás valódi pénzügyi helyzete.

3. CSALÁDI VÁLLALKOZÁSOK ÉRTÉKELÉSE

A családi vállalkozások értékelése sokkal nehezebb, mint egy piaci alapon szerveződött vállalkozásé. Ez abból adódik, hogy egy családi vállalkozás elszámolása és szervezettsége jellemzően nem annyira formalizált és fegyelmezett, mint egy piaci alapú vállalkozásé. Ha ez a probléma meg is oldódik, még mindig ott van a családi vállalkozások specialitásai miatt megjelenő szinergiák pozitív és negatív hatása a családi vállalkozás értékére. Ezeknek a mérése többféle módon történhet.

Sok esetben találkozunk azzal a problémával, hogy egyes vállalkozások valódi értékét nagyon nehéz, vagy lehetetlen meghatározni. Ennek elsődleges jele akkor mutatkozik, amikor a különböző értékelési módszerek alapján számított vállalati értékek drasztikusan különböznek egymástól. Kis kitérőként jegyezzük meg, hogy a vállalatértékelési gyakorlat nem egzakt számokat keres, sokkal inkább intervallumokat határoz meg arra, hogy a vállalat tényleges értéke mely két érték között helyezhető el a legnagyobb valószínűséggel. Ha ez az intervallum kellően szűk, úgy különböző súlyozott átlagok vagy hibrid értékmérő modellek segítségével a vállalati érték jól meghatározható. Mi azonban arra az esetre szeretnénk fókuszálni jelen cikkünkben, amikor a különböző értékelési módszerek alapján számított vállalati értékek nem közelítenek egymáshoz így egy ilyen vizsgálat után még bizonytalanabbá válhatunk mi is és a potenciális befektetők is. Itt jegyezzük meg, hogy az elérhető módszerek természetesen nem csak vállalatok, hanem projektek, befektetések, egyéb tevékenységek vagy vállalati részegységek stb. vizsgálatára is alkalmasak a megfelelő módosítások mellett.

Az elszámolás vagy inkább értékmérés másik lehetősége egy összehasonlító elemzés: Ebben az esetben egy piaci átlagok vagy szokások alapján összeállított ugyanilyen jellemzőkkel és tevékenységgel rendelkező vállalkozással történik az összehasonlítás. Olyan kérdésekre enged rávilágítani, hogy pl.: túlfizetik-e a családtagokat, ennyi pénzért senki sem vállalná, ha nem az apja lenne az ügyvezető, mennyivel terhelhetőbb krízis helyzetben egy családi vs. nem családi vállalkozás. A módszerek eredményeit párba lehet állítani és a különbségük alapján meg lehet nézni, hogy hol van a rejtett érték. Mi okozza az eltéréseket pl. az ügyvezető személyének értéke?

Gyakori probléma, hogy a megfelelő szakértelem megvan a családban, de nem biztosított az utánpótlás képzése. Ennek több oka lehetséges, ebből két fő eset emelhető ki. Az egyik eset, amikor a vállalkozás vezetője, jellemzően a családfő magától értetődőnek veszi, hogy utódja vagy utódai a nyomdokába lépnek, így nem fordít kellő figyelmet a valódi családi

érdekek vagy elképzelések irányába. Itt gyakran elkövetett hiba, hogy ugyan az utódokat megfelelő képzési irányba terelik (pl.: közgazdasági pálya) de a családi vállalkozást jellemző specializált tudás átadására nem kerül sor. Így hiába gondolja azt a cégvezető (esetleg végzettség hiányában, ami nem feltételezi a szakértelem hiányát) hogy az utódok felsőfokú vagy szakirányú végzettsége elegendő a családi vállalkozás továbbviteléhez, hiszen a végzettség nem jelenti a speciális képességek, tudás, motiváció meglétét, sőt még nem említettük azon vállalkozásokat ahol a cégvezető kezében (személyében) túl erősen összpontosul a vevőkör nagy többsége.

4. UTÓDLÁS, GENERÁCIÓVÁLTÁS

A pénzügyi kérdéseken túl egy másik fontos téma, amikor a családi és a céges pénzügyek szoros kapcsolatba kerülnek, az utódlás. A családi vállalkozások életében az utódlás, a következő generációnak történő átadás minden esetben jelentős próbatétel, hiszen annak sikerétől függ, hogy a családi vállalkozás családi cég marad-e, vagy nem családi vállalkozásként működik tovább, esetleg beszünteti a tevékenységét. Az utódlás kérdése nagy cégek esetében általában megoldott a folyamatos utánpótlás képzése, a feladatok standardizálása révén. Ezek egyike sem jellemzi a kkv-k, még kevésbé a családi vállalkozások életét. Az utánpótlás képzése, még ha az a saját gyermekükről (családtagjukról) van szó, a feladatok komplexitásától függően akár éveket is igénybe vehet. A családi vállalkozások másik nagy problémája a családtagok feltételezett és valós motivációja és képességei közötti különbség felmérésének hiánya.

4.1. Generációváltás a családi vállalkozások esetében

A családi vállalkozások egyik létfontosságú problémája lehet az utódlás megszervezése. Kutatásink során a következő eseteket különböztettük meg:

- A vezetői szerep átadása családtagnak,
- A vezetői szerep átadása nem családtagnak,
- Összeolvadás más vállalkozásokkal, valamint nyugdíjba vonulás vagy visszavonulás
- Kilépés a családi vállalkozásból (a tulajdonrész eladása),
- A családi vállalkozás működésének megszüntetése.

Arra jutottunk, hogy a felsorolt esetekben hasonló és eltérő lépések, feladatok realizálhatók. Minden esetben a tervezés – mind pénzügyi és mind jogi szempontból - elengedhetetlen az eredményes generációváltás lebonyolításához.

4.2. Családi vállalkozások tervezésének áttekintése

Miért van, azaz miért szükséges üzleti terv készítésére egy családi vállalkozásnak? Az előzőekből jól érzékelhető, hogy a családi vállalkozások esetében egyrészt a normál működés tekintetében, másrészt a generációváltás előkészítésénél célszerű a családi vállalkozások előtt álló feladatok előzetes áttekintése, megtervezése.

A párhuzamos tervezési folyamat (PPP) a családi vállalkozások hagyományos üzleti tervezési modellje. A PPP olyan eszköz, amely integrálja a családi és üzleti gondolkodást és tevékenységet. A PPP egy sor olyan tervezési és programozási tevékenységet használ, amely a családot és a menedzsmentet összekapcsolja az üzleti stratégiában, ahol a család érdekei és az üzleti potenciál összekapcsolódik, A család és a vezetés által alkotott egységes stratégiai gondolkodáshoz vezet, kölcsönös elkötelezettség egy közös jövőről. [6]

A közös elképzelések alapján mindkét rendszer elkezdheti saját tervezési tevékenységét, ami a család vállalkozás folytonossági tervét és az üzleti stratégia tervét is javítja. A párhuzamos

tervezési folyamat célja a családi és a vállalati igények egyensúlyban tartása. A folyamat két outputja egyrészt a családi vállalkozás folytonossági terve és az üzleti stratégia terv, melyek főbb kérdésköréit az alábbiak szerint foglalhatjuk össze.

Családi vállalkozások folytonossági terve:

- Feltárja a család elkötelezettségét a vállalkozás iránt
- Segíti a családi jövőkép és üzletfilozófia kialakítását a család alapvető értékeinek azonosítása alapján
- Felkészíti a családtagok felnövekvő nemzedékét a vezetői posztok betöltésére
- Rámutat, hogy az életciklusok hogyan befolyásolják a tulajdonosváltást
- Értékeli, elemzi a konfliktusokat, valamint a családi konszenzus megteremtésének lehetőségeit
- Segít kidolgozni a családtagok karrierjét segítő módszerek kidolgozását
- Felvázolja a későbbi lehetséges tulajdonosi struktúrákat és az örökösödési tervet



2. ábra. A családi vállalkozások speciális tervezési rendszere (Forrás: saját szerkesztés [6] alapján)

A legfontosabb tervezési kérdéskörök, amelyekre tehát ki kell térni a családi vállalkozás folytonossági terve kapcsán a következők:

1. Utódlás menedzselésével kapcsolatos döntési pontok
 - Vezetői szerepátadás, és tulajdonhányad átruházás, de kinek?
 - Az utódlás folyamatának időzítése
 - Az átmeneti időszak viszonyainak tisztázása (felelősség, hatáskör)
 - Alapító/előd átadást követően betöltendő üzleti és nem üzleti jellegű szerepkörök
2. Karrier és kompenzáció a családi vállalkozásoknál
 - A családi vállalkozásba történő belépés feltételei (vér szerinti, egyéb rokoni viszony, házastárs, élettárs, adoptált gyermek)
 - Elvárások (formális és informális képzettség, tapasztalat) a belépőkkel szemben
 - Családtagok teljesítményének értékelési szempontjai, jutalmazása
 - A családtagok kilépésével kapcsolatos szabályok
3. Tulajdonosi és irányítási kérdések
 - Ügyvezetés javadalmazása, érdekeltségének biztosítása
 - Osztalékfizetéssel kapcsolatos szabályok

- Igazgatóság/igazgatótanács versus családi tanács
- Üzletész visszavásárlás szabályai
- 4. Családi kapcsolatok
 - Generációk közötti konfliktusok kezelésének elvei
 - Testvéri/unokatestvéri konfliktusok kezelése
 - Családi és üzleti hagyományok, illetve az ún. szocio-emocionális vagyon átöröklése
 - Családi tervezési gyakorlat, eljárásrend kialakítása
 - Családi találkozók, családi rendezvények rendje
 - Családi irányítás generációkon átívelő szabályozása
- 5. Felelősségi kérdések, magatartási kódex
 - A családtagok anyagi, személyes és karrier problémáinak kezelésében játszott szerepe a vállalkozásnak
 - Utódok képzési költségeihez való vállalati hozzájárulás
 - Családtagok új üzleti ötleteinek támogatási formái és fórumai
 - A család társadalmi felelősségvállalási tevékenységének főbb elvei, területei
 - Compliance menedzsment

Üzleti stratégia terv:

- A vállalat stratégiai potenciáljának felmérése
- A vállalat belső adottságainak felmérése
- Külső környezeti tényezők elemzése
- A vállalat stratégiai potenciáljának meghatározása
- A lehetséges üzleti stratégiák vizsgálata
- A vállalat újjáalakításának és megfiatalításának lehetőségei
- Stratégiai alternatívák gyűjtése, kiválasztás tényezőinek definiálása
- A végső stratégiai és befektetési döntések támogatása

A tervezés során a generációk érdek- és értékkonfliktusai miatt számos probléma, buktató merülhet fel, amelyet elmélyíthetnek a családtag és a nem családtag érdekelték közötti problémák.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban áttekintettük a családi vállalkozások pénzügyi jellemzőit. Megállapítottuk, hogy a családi vállalkozások pénzügyi szempontból eltérően viselkednek a hagyományos értelemben definiált vállalkozásoktól. A családi vállalkozás gazdasági és társadalmi jelentőségének köszönhetően fontos meghatározni azokat a jellemzőket és tényezőket, amelyek a leginkább elősegítik folytonosságukat, különös tekintettel az öröklési folyamatban rejlő sebezhetőségük miatt. Ha a vállalkozások időben felismerik a váltás szükségességét, ha ezt előre átgondolva, megtervezve hajtják végre, a családi vállalkozás akár egy megváltozott, jobb növekedési pályára léphet. Így a családi vállalkozások fenntarthatják a családi vállalkozás előnyeit és lehetőségeit, és nem eshetnek áldozatul az egyes szakaszok válságára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DODERO, S.:** The Life Cycle of Family Businesses, 2010, <http://familybusinesswiki.ning.com/profiles/blogs/brbrp-classmsonormal>
- [2] **DODERO, S. at all:** The influence of family relationships in the succession A factorial analysis of Mexican enterprises, 2015 www.emeraldinsight.com/2043-6238.htm

- [3] **INSIST_IO1_National Report_Hungary**, Budapesti Gazdasági Egyetem INSIST projekt munkaanyaga, 2016
- [4] **INSIST_IO1_Comparative Report**, Budapesti Gazdasági Egyetem INSIST projekt munkaanyaga, 2016
- [5] **INSIST_IO5_Financial and legal module_HU**, Budapesti Gazdasági Egyetem INSIST projekt munkaanyaga, 2016
- [6] **CARLOCK, R.S. - WARD, J.L.:** A családi vállalkozás stratégiai tervezése A család és a vállalkozás egyesítésének párhuzamos tervezése, 2006, Helikon Kiadó, Budapest

110 ÉVES CSAPADÉKADATOK VIZSGÁLATA SPEKTRÁLIS ANALÍZISSEL ÉS WAVELET-ELEMZÉSSSEL

EXAMINATION OF 110 YEARS ANNUAL RAINFALL DATA USING SPECTAL ANALYSIS AND WAVELET ANALYSIS

ILYÉS Csaba¹, TURAI Endre², SZŰCS Péter³

¹PhD. hallgató, tudományos segédmunkatárs, hgilyes@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

¹Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

²CSc, Dr. habil., intézetigazgató egyetemi docens, gfturai@gold.uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

³DSc, Dr. habil., tanszékvezető egyetemi tanár, dékán, kutatócsoport vezető, hgszucs@uni-miskolc.hu

³Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

³Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

Kivonat: A csapadék adatok Debrecen területén mért 110 éves havi és évi mintavételezésű idősorinak spektrális és wavelet elemzését mutatja be a dolgozat. A spektrumokból kiolvasott 10 és 18 determinisztikus ciklus felhasználásával 2030-ig előrejelzést készítettünk az évi csapadék várható időbeli változásáról. A wavelet elemzéssel azt vizsgáltuk, hogy egy-egy adott ciklus mely években volt domináns, illetve hogy egy-egy év csapadék adatát mely ciklusok határozták meg.

Kulcsszavak: spektrális analízis, domináns ciklusok, előrejelzés 2030-ig, wavelet elemzés.

Abstract: The paper shows the spectral and wavelet analysis of a 110-year-old and annual sampling time series of rainfall data measured in Debrecen. By using the 10 and 18 deterministic cycles read out from the spectra, a prediction of the expected change in the annual rainfall was made by 2030. We investigated the years in which each cycle was dominant and the cycles that determined the precipitation data in a given year using wavelet analysis.

Keywords: spectral analysis, dominant cycles, prognosis to 2030, wavelet analysis.

1. BEVEZETÉS – A KUTATÁS CÉLJA

A felszín alatti vizek utánpótlódásában a lehullott csapadék mennyisége a legmeghatározóbb, ezért fontos, hogy ezen paramétert minél jobban ismerjük, a csapadék idősorokban található szabályozottságot figyelni tudjuk, mivel a hidrológiai cikluson keresztül bármilyen változás a csapadékok eloszlásában hatással van az utánpótlódás során a felszín alatti vizek mennyiségére és minőségére is. Kutatásunk célja ezért diszkrét Fourier-transzformáción alapuló spektrális elemzéssel a determinisztikus komponensek felkutatása volt a hosszú idejű csapadék adatsorokban Debrecen területén. A periódusok felkutatása után azokról becslést készítettünk, illetve megvizsgáltuk azoknak időfüggését is, azaz, hogy mely időszakokban figyelhető meg az adott ciklus dominánsabb, és mely időszakban kevésbé.

2. AZ ELEMZÉSI MÓDSZEREK MATEMATIKAI ALAPJAI

A fejezetben röviden bemutatjuk spektrális elemzés és az ezen alapuló előrejelzés (prognózis), valamint a wavelet analízis matematikai alapjait.

2.1. A spektrális elemzés

Az időbeli regisztrátumok spektrális képét (spektrumát) az alábbi - a szakirodalomból jól ismert [1], [2], [5] Fourier transzformációval állíthatjuk elő:

$$Y(T) = \int_{t=-\infty}^{\infty} y(t) e^{-j\frac{2\pi}{T}t} dt, \quad (1)$$

ahol:

- t – az idő, a regisztrátum független változója,
- $y(t)$ – a regisztrátum (időtartománybeli jel),
- j – a képzetes egység,
- T – a periódusidő, a ciklus időbeli hossza,
- $Y(T)$ – az időjel (regisztrátum) spektruma.

Az $Y(T)$ komplex spektrum valós spektrumok segítségével a következő két úton állítható elő.

$$Y(T) = \text{Re}[Y(T)] + j \text{Im}[Y(T)], \quad (2)$$

$$Y(T) = A(T) e^{j\Phi(T)}, \quad (3)$$

ahol:

- $\text{Re}[Y(T)]$ – a valós spektrum, a komplex spektrum valós része,
- $\text{Im}[Y(T)]$ – a képzetes spektrum, a komplex spektrum képzetes része,
- $A(T)$ – az amplitúdó spektrum, a komplex spektrum amplitúdója,
- $\Phi(T)$ – a fázis spektrum, a komplex spektrum fázisa.

Az amplitúdó és a fázis spektrumokat a valós és a képzetes spektrumok ismeretében határozhatjuk meg:

$$A(T) = \sqrt{\text{Re}[Y(T)]^2 + \text{Im}[Y(T)]^2}, \quad (4)$$

$$\Phi(T) = \arctg \frac{\text{Im}[Y(T)]}{\text{Re}[Y(T)]}. \quad (5)$$

2.2. A spektrális alapon történő előrejelzés

Az előző alfejezetben ismertetett spektrumokból meghatározhatók a domináns periodikus komponensek (ciklusok). Ezeket determinisztikus jeltartalomként kezelve, matematikailag a jövőt jelentő időtartományban is kiszámítható a várható regisztrátum [4]:

$$y(t)^{det} = \bar{Y} + \frac{2}{T_{reg}} \sum_{i=1}^I A_i \cos\left(\frac{2\pi}{T_i}(t - t_0) + \Phi(T_i)\right), \quad (6)$$

ahol:

- $y(t)^{det}$ – a determinisztikus komponensek alapján számított regisztrátum,
- \bar{Y} – a regisztrátum várható értéke,
- T_{reg} – a regisztrátum hossza,
- T_i – az i -edik ciklus periódus ideje,
- t_0 – a regisztrátum kezdeti időpontja,
- I – a determinisztikus ciklusok száma,
- A_i – az i -edik ciklus amplitúdója,
- $\Phi(T_i)$ – az i -edik ciklus fázisa.

2.3. Wavelet analízis konvolúciós alakszűréssel

A regisztrátumban keresett ciklusok alakját harmonikus függvényekkel (szinusz, koszinusz) írhatjuk le. Az így előállított hullámcsomagok (waveletek) és a regisztrátumok konvolúciós szűrésével [7] a regisztrátum minden időpontjában meghatározhatjuk az adott ciklus súlyát ($y^{wavelet-tr.}$) a jelben.

$$y^{wavelet-tr.}(t) = \int_{\tau=-\infty}^{+\infty} x(\tau)y(t-\tau)d\tau = \int_{\tau=-\infty}^{+\infty} y(\tau)x(t-\tau)d\tau, \quad (7)$$

ahol:

- $y(t)$ – a regisztrátum,
- $x(t)$ – a wavelet.

Komplex írásmód esetén valós és képzetes wavelet-et használhatunk, amelyek egymáshoz képest 90 fokos (a vonatkoztatási idő $T_i/4$ időtolását) fázistolást eredményeznek.

A tetszőleges i -edik ciklus waveletei az alábbiak:

valós wavelet -
$$x(t) = \cos\left(\frac{2\pi}{T_i}t\right) \quad (8)$$

képzetes wavelet -
$$x(t) = \sin\left(\frac{2\pi}{T_i}t\right). \quad (9)$$

2.4. Wavelet analízis keresztkorrelációs függvény felhasználásával

A wavelet analízis keresztkorrelációs függvény [7] segítségével is elvégezhető, ha az $x(t)$ wavelet és az $y(t)$ regisztrátum keresztkorrelációs függvényét képezzük:

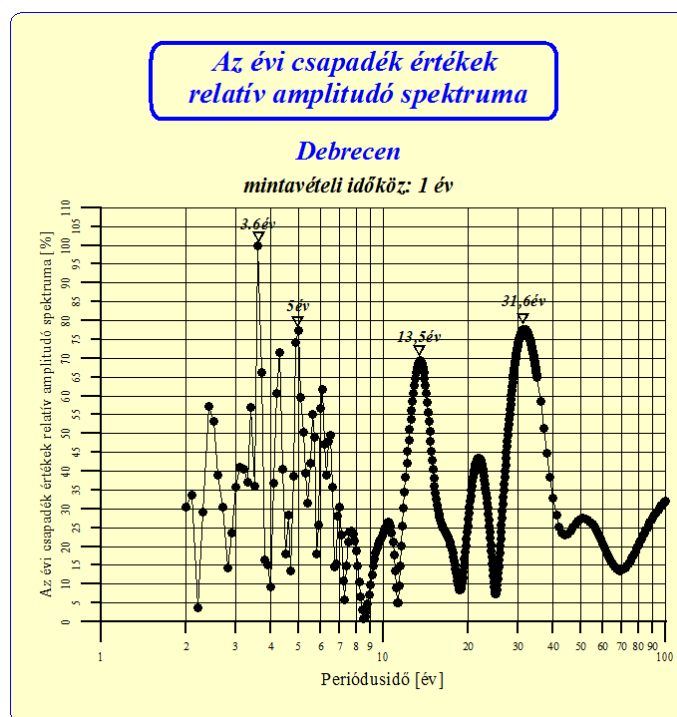
$$R_{xy}(t) = \frac{1}{T_{reg}} \int_{\tau=t_{min}}^{t_{max}} x(\tau)y(t+\tau)dt, \quad (10)$$

A normált keresztkorrelációs függvény segítségével a ciklus előfordulásának a 0-1 intervallumban képzett súlyát határozhatjuk meg:

$$R_{xy}^{(N)}(t) = \frac{R_{xy}(t)}{\text{Max}\{R_{xy}(t)\}}. \quad (11)$$

3. A SPEKTRÁLIS ELEMZÉS EREDMÉNYEI

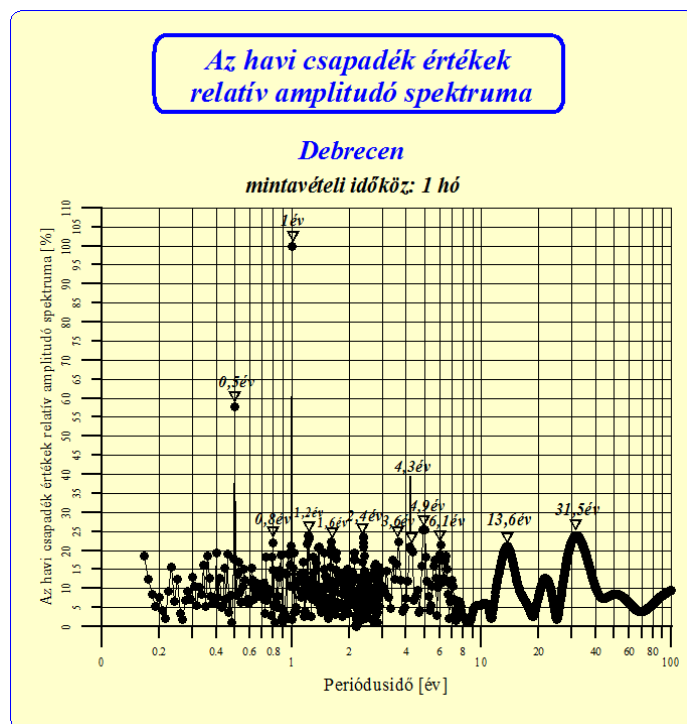
A spektrális elemzést eredményét Debrecen területére mutatjuk be az 1901 és 2010 közötti 110 éves csapadék idősorok esetében. A Fourier transzformációt saját fejlesztésű DFT programmal [6] végeztük. Az 1. ábrán az éves mintavételi közű regisztrátum amplitúdó spektruma található.



1. ábra. Az 1 éves mintavételi időközű regisztrátum amplitúdó spektruma

Az 1. ábrán látható, hogy a spektrum maximumához viszonyított 50%-nál nagyobb relatív amplitúdókkal tíz főciklus mutatható ki. Ezek közül a 3.6 éves periódus súlya (amplitúdója) a legnagyobb. A főciklusok időbeli periódus hosszai az amplitúdóik csökkenő sorrendjében a következők: 3.6 év, 3.6 év, 5 év, 4.3 év, 13.5 év, 6.1 év, 2.4 év, 3.4 év, 5.6 év és 6.5 év. A 20% - 50% relatív amplitúdó tartományban nyolc (21.8 éves, 3.1 éves, 2.1 éves 7 éves, 4.6 éves, 51 éves, 10.4 éves és 7.7 éves) ún. mellékciklus található.

Az 1 éves mintavételezésű regisztrátum Nyquist periódus hossza 2 év. A regisztrátumból – ahogy az az 1. ábrán látszik – csak ettől a Nyquist periódustól hosszabb ciklusok mutathatók ki. A rövidebb ciklusok kimutatásához kisebb mintavételi idejű regisztrátum szükséges, ezért a havi mintavételi időközű regisztrátum esetre is kiszámítottuk az amplitúdó spektrumot (2. ábra). Az ábráról leolvasható, hogy a legnagyobb súlya Debrecen területén a csapadék értékek 110 éves alakulásában az 1 év hosszúságú ciklusnak van. Az 1 éves ciklus mellett még a féléves ciklus mutatható ki főciklusként, az 50% feletti relatív amplitúdó tartományban. A 0.8 éves, az 1.2 éves és az 1.6 éves ciklusok kisebb súllyal (a 20% - 50% relatív amplitúdó intervallumban) jelentkeznek. A 2 évesnél hosszabb, 2.4 éves, 3.6 éves, 4.3 éves, 4.9 éves, 6.1 éves, 13.6 éves és 31.6 éves ciklusok természetesen ebben az esetben is kimutathatóak mellékciklusként.



2. ábra. A havi mintavételi időközű regisztrátum amplitúdó spektruma

4. A 2011-2030 KÖZÖTTI IDŐSZAKRA VONATKOZÓ PROGNÓZIS

A spektrális elemzéssel meghatározott domináns ciklusokat determinisztikus komponensként értelmezve, a [3], [4] publikációkban bemutatott módon, az 1901 és 2010 közötti regisztrátumot tanítási időszakként használva, meghatároztuk a csapadék várható alakulását Debrecen területén, a 2011 és 2030 közötti időszakra. A prognózis eredményét a 3. és a 4. ábrákon mutatjuk be, ahol a fekete görbék az eredeti regisztrátumot, a színesek pedig a prognózis eredményét jelölik.

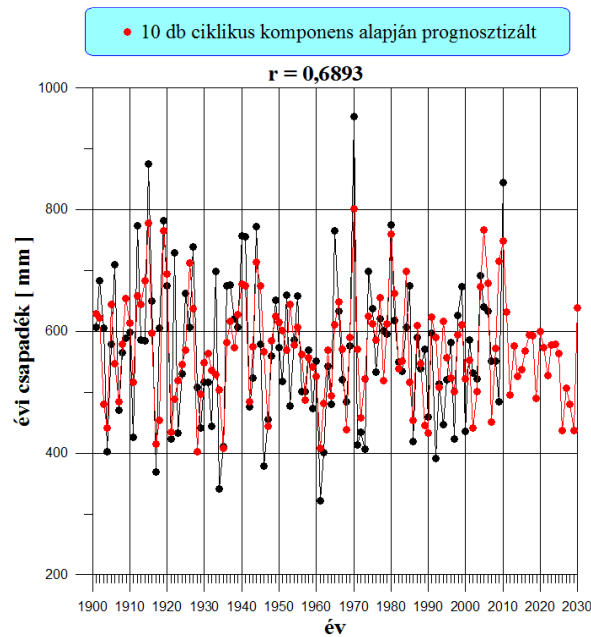
A 3. ábrán a 10 db főciklus alapján számított előrejelzés látható. Az ábrán feltüntettük a tanítási időszakra meghatározott korrelációs együttható ($r = 0.6893$) értékét.

A 18 db ciklus alapján becsült csapadék prognózist a 4. ábra mutatja, ahol a korrelációs együttható értéke az eredeti regisztrátum és a determinisztikus ciklusok összege között erősebb ($r = 0.7339$), mint a 10 db ciklust tartalmazó prognózis esetében.

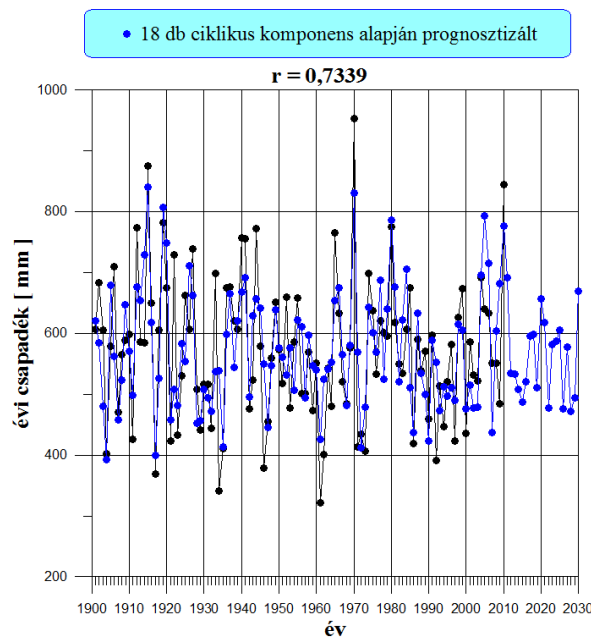
A prognózis számszerű értékeiből kiszámítottuk a csapadék várható értékét és a szórását az 1901 és 2010, valamint a prognosztizált 2011 és 2030 közötti időszakokra.

A 10 ciklust tartalmazó prognózis (3. ábra) esetében a csapadék várható értéke 1901 és 2010 között 574.8 mm/év (szórás: 89,7 mm/év), míg a 2011 és 2030 közötti időszakban a prognózis alapján ez a várható érték jelentősen csökken, 546.7 mm/év (szórás: 58 mm/év) szintre. A csökkenés mértéke a tanítási időszakhoz képest 5%-os.

A 18 ciklus figyelembevételével meghatározott előrejelzés (4. ábra) adataiból is hasonló csökkenés mutatható ki. Itt a tanítási időszakra vonatkozó várható csapadéérték 574.4 mm/év (szórás: 99.2 mm/év) volt, míg a prognózis időszakában (2011-2030) 559.4 mm/év (szórás: 67.8 mm/év) az évi csapadék várható értéke.



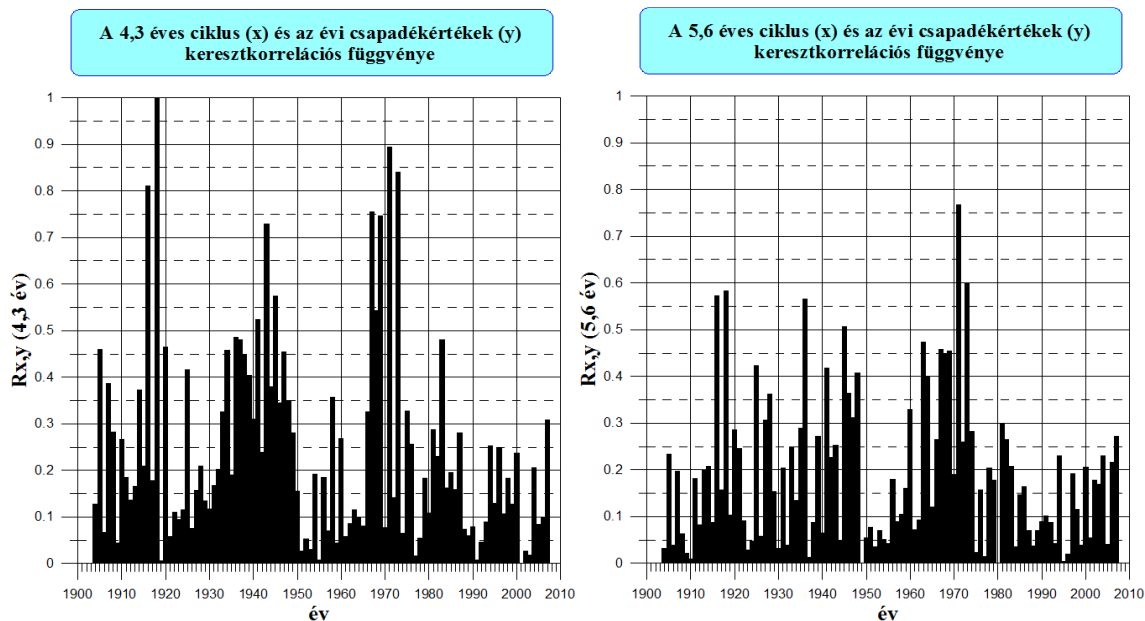
3. ábra. A 10 db ciklus figyelembevételével számított prognózis



4. ábra. A 18 db ciklus figyelembevételével számított prognózis

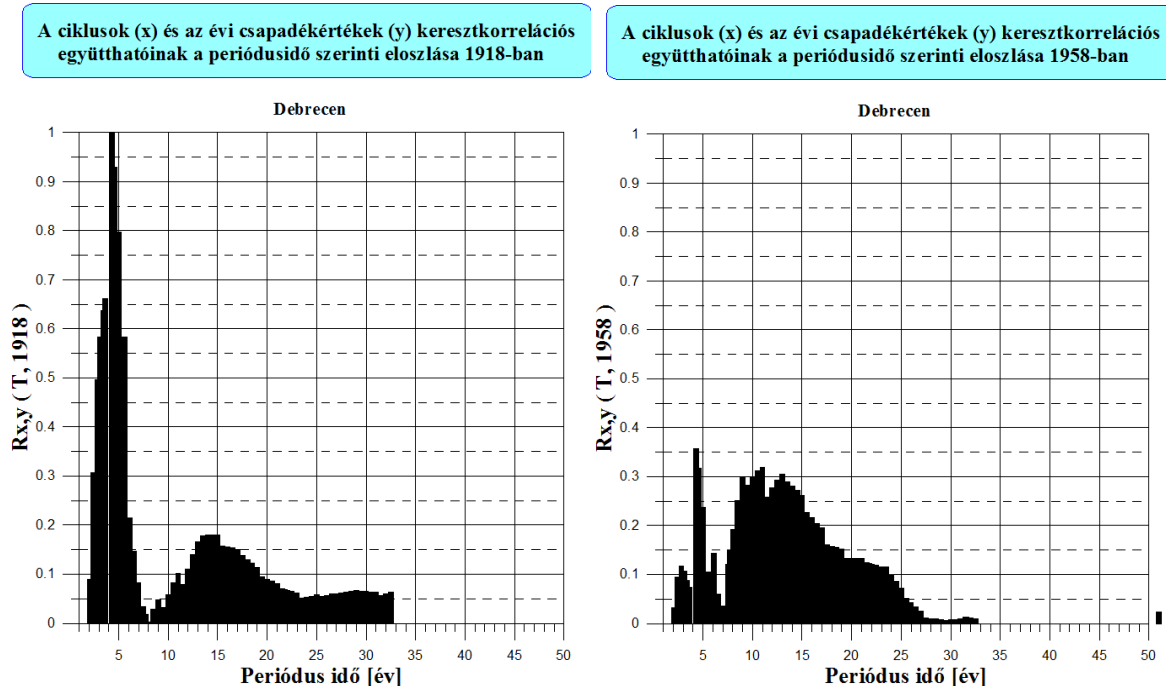
5. A WAVELET-ELEMZÉS EREDMÉNYEI

A wavelet analízissel meghatároztuk a domináns ciklusok súlyeloszlását a regisztrálás időszakában. Az 5. ábrán bemutatott 4.3 éves és 5.6 éves ciklusok súlyeloszlásainak vizsgálata alapján megállapítható, hogy mindkét ciklus 1918 és 1971 környezetében jelentkezett a legnagyobb súllyal az 1 éves mintavételi időközű regisztrátumban, azonban a 4.3 éves ciklus súlya 1918-ban több mint 10%-al nagyobb volt mint 1971-ben, míg az 5.6 éves ciklus súlya már 1971-ben volt a legnagyobb.



5. ábra. A 4.3 éves ciklus (bal oldalon) és az 5.6 éves ciklus (jobb oldalon) súlyeloszlása

A wavelet elemzéssel az is megbecsülhető, hogy egy-egy adott év környezetében a különböző ciklusok milyen súlyeloszlással határozták meg a csapadék idősor értékeit. A 6. ábra 1918-ban és 1958-ban mutatja be a csapadék adatok spektrumát.



6. ábra. Az évi csapadék adatok spektruma 1918-ban (bal oldalon) és 1958-ban (jobb oldalon)

A 6. ábra alapján kijelenthetjük, hogy az 1918 körüli időszakban egyértelműen a 4.3 éves ciklus volt a meghatározó az 1 éves mintavételi közül regisztrátumban, azonban 1958-ban már a 10-13 éves ciklusok is dominánsak voltak a 4.3 éves ciklus mellett.

6. ÖSSZEFOGLALÁS, ÉRTÉKELÉS

Az elemzés során több nagy periódusidejű ciklus is kimutatásra került Debrecen 110 év hosszúságú csapadék idősorából. Kijelenthető, hogy az 1 és fél éves ciklusok jelentkeznek legdominánsabban a vizsgált időszakban, ami a Föld forgásából, és Naprendszerben elfoglalt pillanatnyi helyzetéből adódik. Ezen felül a 3,6 és 5 év körüli periódusok kerültek kiszámításra nagy amplitúdóval, aminek magyarázata a további kutatás iránya lehet. Ezen ciklusok és egyéb paraméterek felhasználásával becslést készítettünk Debrecen területére, majd a domináns ciklusok időbeli változását is megvizsgáltuk, amivel kimutattuk, hogy az 1917-18 illetve az 1969-71 időszakokban dominánsabban – magas korrelációval – jelentkeztek, továbbá egyértelműen látható, hogy a két bemutatott év között a ciklusok dominanciája jelentősen változott 1918-hoz viszonyítva az 1958. évben.

A kutatás továbbvitele során a felszín alatti vizekkel való kapcsolat megtalálása a cél, ahol hosszú távú talajvizes megfigyelőkút adatsorokat felhasználva a hasonló ciklusok felkutatása után a késleltetés paraméterét is meg tudjuk határozni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, a "Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése" című GINOP-2.3.2-15-2016-00010 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BATH, M.:** *Spectral Analysis in Geophysics*, Elsevier Scien. Publ. Co., Amsterdam - Oxford - New York, 1974.
- [2] **BRACEWELL, R. N.:** *The Fourier Transform and its Applications*, McGraw - Hill Book Co., Oxford, 1978.
- [3] **ILYÉS CS., TURAI E., SZŰCS P., ZSUGA J.:** *Examination of the cyclic properties of 110 – year – long precipitation time series*, ACTA MONTANISTICA SLOVACA, 22(1), 2017, pp. 1-11.
- [4] **KOVÁCS F., TURAI E.:** *A Mátra-Bükkalja csapadék jellemzői ciklikus változása, prognózis módszer megalkotása*, HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY, 94(1), 2014, 35-45.
- [5] **MESKÓ A.:** *Digital Filtering*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984.
- [6] **TURAI E.:** *A Fourier transzformáció egy numerikus módszerre és alkalmazása a GP-jelenség rendszerjellemező függvénnel történő leírásánál*, MAGYAR GEOFIZIKA, 24(1.), 1983, 11-19.
- [7] **TURAI E.:** *Spektrális adat- és információfeldolgozás*, egyetemi jegyzet, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2005.

FÁS SZÁRÚ BIOMASSZÁBÓL TÖRTÉNŐ VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS MODELLEZÉSE ÉS HATÉKONYSÁGVIZSGÁLATA

MODELLING AND EFFICIENCY EXAMINATION OF ELECTRICITY PRODUCTION USING WOODY BIOMASS

ISKI Patrik¹, BODNÁR István²

¹villamosmérnök alapszakos hallgató, iskip95@gmail.com

¹Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Miskolci Egyetem

²PhD, egyetemi adjunktus, vegybod@uni-miskolc.hu

²Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A társadalom energiafelhasználása az elmúlt évszázadok során jelentősen növekedett. A növekvő energiaigények és a fosszilis energiahordozók gazdaságosan kitermelhető készleteinek csökkenése idővel rákényszeríti majd az embereket, hogy alternatív módon termeljék meg a szükséges energiamennyiséget. A publikációban a megújuló energiaforrásnak számító biomassza energetikai hasznosításának lehetőségével foglalkozunk, ezen belül az elgázosítás optimális paramétereit keressük. Az alapanyag ismertetése és a folyamathoz szükséges technológiai egységek rövid áttekintése után, különböző reakciók során keletkezett szintézisgázok mennyiségét hasonlítottuk össze. A kiértékeléssel elősegíthető az alapanyag kihasználtságának javítása, és a tüzelőanyag energiataralmának átalakítása a legjobb hatásokkal.

Kulcsszavak: megújuló energiaforrás, biomassza, gázosítás, szintézisgáz, energiataralom

Abstract: Energy consumption of the society has increased significantly during the last centuries. The growing energy demand and decrease of the fossil energy stock which can be extracted economically will force the people to produce the necessary quantity of energy in alternative method, in this publication we deal with the possibility of using biomass as renewable energy source, especially we are searching the optimal parameters of gasification. After describing of the material and short review of the technological units which are necessary to the process, we compare the quantity of synthesis gases which were generated in different reactions. The evaluation can help to improve utilization of the raw material and transform the energy content of the fuel with the best efficiency.

Keywords: renewable energy source, biomass, gasification, synthesis gas, energy content

1. BEVEZETÉS

Az emberiség működésének alapvető feltétele az energiatermelés. A társadalom energiafelhasználása az elmúlt évszázadok során jelentősen növekedett. Az energiaellátás minden igényt kielégítő biztosítása azonban napjainkban komoly feladat és jelentős környezetterhelést eredményez. Mivel egyetlen gazdasági ágazat sem működhet energia-átalakító folyamatok nélkül, joggal állíthatjuk, hogy a környezetkímélő energiatermelés a jelen és a jövő kulcskérdése. Környezetkímélő energiatermelésen azt az energianyerési koncepciót értjük, amely céltudatosan törekszik a legkisebb környezeti kárt okozó energiatermelési formák kiválasztására, fejlesztésére és elterjesztésére, továbbá minden energianyerési formánál (különös hangsúllyal az erősen szennyező fosszilis tüzelőanyagokra) az átalakítás maximális hatékonyságát kívánja elérni, és a keletkező szennyezőket a technika minden lehetséges eszközével igyekszik ártalmatlanítani [1].

Cikkünkben a megújuló energiaforrások közé tartozó fás szárú biomasszából történő villamos energiatermelési módszert elemezzük, modellezzük, hogy melyek a legideálisabb körülmények az energia előállítás szempontjából, természetesen úgy, hogy a környezetszennyezés a legalacsonyabb legyen.

2. BIOMASSZA

A megújuló energiák és energiahordozók között továbbra is a biomassza a meghatározó. Ezeken belül is a fának kitüntetett szerepe van. A biomassza valamely élettérben (szárazföldön és vízben) egy adott pillanatban jelen lévő szerves anyagok és élőlények (mikroorganizmusok, növények, állatok) összessége. A létrejött szerves anyag mennyisége a zöld növények által a fotoszintézis során a Nap sugárzó energiájából átalakított és megkötött kémiai energia. A biomasszán alapuló energiatermelés beruházási költségei lényegesen kedvezőbbek lehetnek, mint a többi megújuló energiaforrás esetében, hiszen a régi széntüzelésű erőművek viszonylag kis költséggel átalakíthatók, míg egy új szélerőmű park, egy vízi erőmű, vagy egy korszerű naperőmű létesítése jelentős költségekkel jár [2].

2.1. Biomasszák elemi összetétele

Az ipari tüzelőberendezésekben használt tüzelőanyagoknak, azok elemi összetételének (1. táblázat) akkora hatása van az égési folyamatokra, hogy az égéssel együtt történő vizsgálatuk elengedhetetlen. A fás szárú biomasszák kéntartalma alacsonyabb, nedvességtartalma jelentősebb, fűtőértéke kisebb és illótartalma nagyobb, mint a fosszilis tüzelőanyagoknak. A nitrogéntartalom is kisebb, így csökken a tüzelőanyag nitrogéntartalmából eredő nitrogén-oxid kibocsátás és a kén-dioxid emisszió. Cikkünkben az elsődleges biomasszákkal foglalkozunk, azon belül a fás szárú erdő- és mezőgazdasági melléktermékekkel, mivel elsősorban a szilárd halmazállapotú tüzelőanyag gázzá történő átalakítását vizsgáljuk [3].

1 Táblázat A tüzelőanyagként felhasználható biomassza elemi összetétele és fűtőértéke

Biomassza	Kémiai összetevők (%)					Fűtőérték (MJ/kg)	Hamu (%)	Illó éghető (%)
	C	H	O	N	S			
Búzaszalma	45	6,0	43	0,6	0,12	17,3	5,28	74
Kukoricaszár	44	5,8	40	1,3	0,12	17,5	8,78	76
Fa	47	6,3	46	0,1	0,02	18,5	0,52	85
Kéreg	47	5,4	40	0,4	0,06	16,2	7,14	75
Fa+kéreg	47	6,0	44	0,3	0,05	18,1	2,65	82
Miscanthus	46	6,0	44	0,7	0,01	17,4	3,2	80

3. GÁZOSÍTÁS

A gázosítás az egyik legrégebben alkalmazott eljárás szilárd halmazállapotú fosszilis és megújuló energiahordozók éghető szintézisgázzá és folyékony üzemanyaggá történő átalakítására. A gáztüzelés mindazon jó tulajdonságokkal rendelkezik, mint az olajtüzelés, viszont további előnyei is ismertek. Ezek például, hogy az égéstermékek tisztábbak, illetve kevesebb bennük a káros szennyeződés. A gázosítás során felszabaduló szintézisgáz hasznosítása történhet gázturbinákban, ezek legfőbb előnye a berendezések kis mérete, ami nagymértékű gyártóműi készre szerelést, rövid építési időt és alacsony beruházási költséget tesz lehetővé. A legelterjedtebb megoldás a környezeti levegőt beszívó és az égőtérben keletkező gázt egy azonos tengelyre szerelt turbinában expandáltató nyílt ciklusú gázturbina. Fontos tudni, hogy a gázturbinák általában alkalmasak igen gyors (az elhatározástól a teljes terhelésig 7-15 perces) indításra is, így alkalmazhatjuk például egy gyorsindítású csúcserőműben, villamosenergia-termelésre [3].

A folyamat során keletkező termékek halmazállapot szerint lehetnek:

- szintézis gáz, amely tartalmazhat például szén-monoxid (CO), metán (CH₄), hidrogén (H₂), acetilén (C₂H₂), etilén (C₂H₄), szén-dioxid (CO₂), összetevőket, és nitrogén-oxidokat (NO_x);
- folyékony termék, ezek közé tartozik az olaj, kátrány, bomlási víz;
- szilárd végtermék csoportjába tartozó pirolízis koks, valamint a salak és a hamu.

4. TERMOKINETIKAI MODELLEZÉS

A modellezés célja azon paraméterek megkeresése, melyek segítségével a biomasza optimális elgázosítása valósítható meg. A modellvizsgálat során meghatározhatjuk előállított gáztermék összetételét, fűtőértékét, továbbá azt is, hogy milyen egyéb kémia-energetikai tulajdonságokkal rendelkezik a szintézisgáz. Ezen paraméterek kulcsfontosságúak a hatékony energia-termelés megvalósításához. Ahhoz, hogy a biomasza elgázosítás során a hőmérsékletének és légfelesleg tényező értékének függvényében a felszabaduló gáz milyen összetevőket és azokat milyen mennyiségben tartalmaz szükséges meghatározni az elemi összetételt.

4.1. A modell alapegyenlete

A kibővített modellegyenlet levegő gázosító közeg alkalmazása esetén a moláris anyagmegmaradás tétele alapján a következő módon írható fel:

$$\begin{aligned} & \text{CH}_k\text{O}_l + N_m \cdot \text{H}_2\text{O} + m \cdot \text{O}_2 + (3,76 \cdot m + a_n) \cdot \text{N}_2 = \\ & = x_1 \cdot \text{H}_2 + x_2 \cdot \text{CO} + x_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + x_4 \cdot \text{CO}_2 + x_5 \cdot \text{CH}_4 + x_6 \cdot \text{O}_2 + x_7 \cdot \text{NO} + x_8 \cdot \text{NO}_2 + x_9 \cdot \text{N}_2 \\ & \quad + x_{10} \cdot \text{N}_2\text{O} + x_i \cdot \text{C}_d\text{H}_f\text{O}_g \end{aligned} \quad (1)$$

ahol:

N_m – a tüzelőanyag egy mólnyi karbon-tartalmára vonatkoztatott nedvességtartalma;

m – a moláris oxigénigény;

3,76 – a nitrogén és az oxigén aránya a levegőben;

a_n – a tüzelőanyag nitrogéntartalma;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_i$ a keresett értékek, azaz a keletkező gázösszetevők moláris mennyisége, amelyek a modellegyenlet megoldásával adódnak.

4.2. Az egyensúlyi állandók módszere

A paraméteres alapegyenletek megadása azért szükséges, mert ezeket felhasználva építettük fel a modellvizsgálatokat. A bemeneteli összetételek függvényében és a keletkező termékek ismeretében felírt (1.) összefüggés jobb oldalán ismeretlen mennyiségeket tartalmaz. Az egyenlet megoldására az egyensúlyi állandók módszerét választottuk, ami a Gibbs-féle szabad-energia minimalizálásának elve ((2.) összefüggés) alapján oldja meg az egyenletet. Az egyenlet megoldására a Gaseq nevű szoftvert használtuk [3].

$$\frac{G}{R \cdot T} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i \cdot G_i^0}{R \cdot T} + x_i \cdot \ln \frac{x_i}{\sum x_i} + x_i \cdot \ln p \right) \quad (2)$$

ahol:

- p – a rendszer nyomása;
- G – a Gibbs-féle szabad energia;
- G_i – 0 az i -dik alapanyag 1 mol anyagmennyiségre vonatkoztatott fajlagos szabad energiája normál légköri nyomás esetén;
- x_i – az i -dik alapanyag anyagmennyisége a keverékben;
- R – az egyetemes gázállandó;
- T – pedig a rendszer hőmérséklete.

A G/RT hányados egyensúlyi minimumát az elemi összetétel határozza meg.

Az elhanyagolások és egyszerűsítések figyelembevételével a kezdeti és peremérték-feltételek:

Karbon egyensúly: $1 = x_2 + x_4$

Hidrogén egyensúly: $k + 2 \cdot n = 2 \cdot x_1 + 4 \cdot x_3$

Oxigén egyensúly: $1 + n + 2 \cdot m = x_2 + x_3 + 2 \cdot x_4$

Víz-gáz reakció egyensúlyi állandó: $K = \frac{x_1 \cdot x_4}{x_2 \cdot x_3}$

A légfelesleg tényező (λ):

$$\lambda = \frac{m}{m_{elméleti}} \quad (3)$$

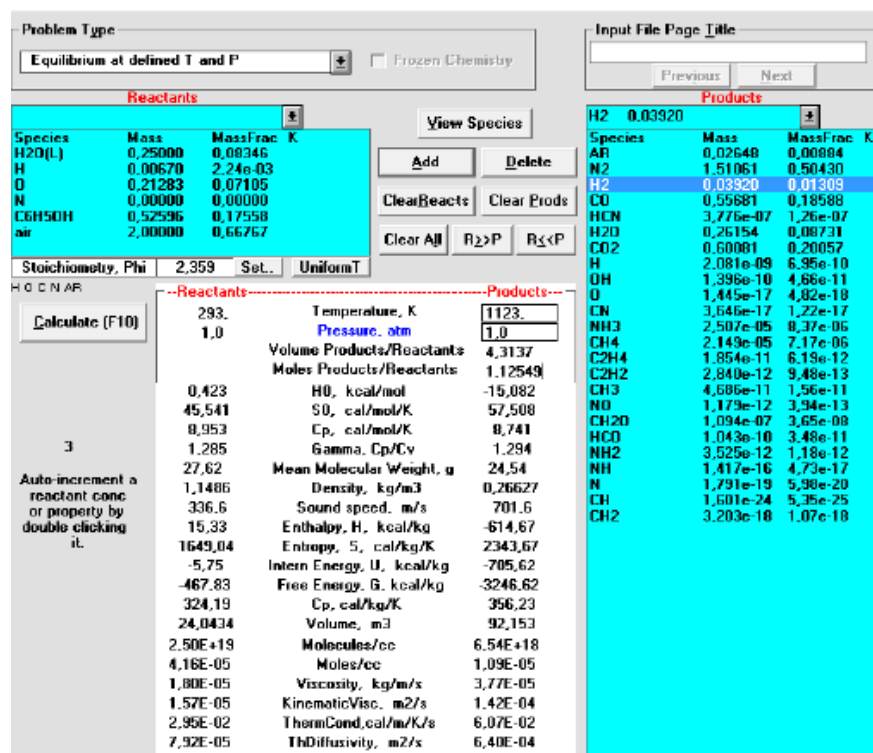
ahol:

$m_{elméleti}$ – a tökéletes égéshez tartozó elméleti moláris oxigénigény.

4.3. A Gaseq szoftver

A fentebb ismertetett számítási módszert alkalmazza a Gaseq nevű szoftver. Kémiai egyensúlyi folyamatok elemzése céljából fejlesztették ki, így ideális a használata az gázosítási eljárások vizsgálatára. A művelet szimulálásával megfigyelhettük, hogy a bemenő paraméterek változtatása hogyan befolyásolja a gázosítás során keletkező gáz összetételét.

A szoftver megnyitása után meg kell adnunk néhány beállítást, hogy a számítás a megfelelő feltételek mellett történjen (1. ábra). Elsőnek az angolszász mértékegységet SI mértékegységre célszerű állítani, ilyenkor a szoftver két nagy szövegdoboza is színt vált. Ezután válaszuk ki azt a lehetőséget, ahol a modellezés egy előre meghatározott hőmérsékleten és nyomáson történik. Ezeket az értékeket adjuk is meg a szoftver középső nagy szövegdobozában, ügyelve rá, hogy a hőmérséklet Kelvinben, a nyomás atmoszférában legyen. Mind ezek után bevisszük a gázosítani kívánt alapanyag elemi összetételét és a gázosító közeget. Ilyenkor befolyásolhatjuk a nedvességtartalmat és a légfelesleg tényezőt is. A biomasszára történő modellezéskor elengedhetetlen megadni az alapanyagot felépítő molekulát. A legideálisabb molekula a cellulóz lenne, ez sajnos nem található meg a programban. Így szükséges keresni a cellulózhoz nagyon hasonló molekulát. A legmegfelelőbb választás a fenol (C_6H_5OH), ami egy aromás szerkezetű, kristályos szilárd anyag. Végezetül már csak azt kell beállítanunk, hogy mely összetevők keletkezésével kell számolni. Amennyiben egy összetevőt kifejejtünk a listáról, a program automatikus üzenetet küld, így a modellezés során is változtathatunk a paramétereken [4]. A modellezést többféle fafajtára elvégezhetjük, jelen esetben a 2. táblázatban található fafajtákat elemeztük.



1. ábra. Gaseq szoftver kezelő felülete

2. Táblázat Biomasszák kémiai összetétele

Fafajta	Kémiai összetétel [tömegszázalék/száraz bázis]					
	C	H	N	S	O	Hamu
Tölgyfa	53,7	5,4	0	0	40,3	0,6
Bükkfa	51,6	6,3	0	0	41,5	0,6
Akácfa	49,5	5,9	0,4	0	43,3	0,9
Erdei fenyő	50,1	6,1	0,2	0	43,4	0,2
Energiafűz	50,9	5,6	0,2	0	41,8	1,5

Mivel a szoftver nem tartalmazza a megfelelő molekulát így a fenol molekula használatkor szükséges némi korrekciót alkalmazni, hogy megfelelő legyen a kémiai összetétel. A fenol nem tartalmaz elegendő hidrogén- és oxigénmennyiséget. Ezen kívül a valóságos tüzelőanyagoknak van nedvességtartalma, így annak a hozzászámítása is elengedhetetlen volt. A korrekcióhoz szükséges ismernünk a fafajták H/C és O/C arányát, melyet a 3. táblázat tartalmaz.

3. Táblázat Fafajták H/C és O/C aránya

	Tölgyfa	Bükkfa	Akácfa	Erdei fenyő	Energiafűz
H/C	1,20	1,45	1,42	1,45	1,31
O/C	0,56	0,60	0,66	0,65	0,62

A korrekcióval kiszámított összetétel már helyes közelítése a valóságos biomassza anyagának. A fenoltartalom teljes mértékben magában foglalja a szénmennyiséget. A hidrogénmennyiséget kisebb, az oxigénét viszont nagyobb mértékben kell módosítani. A

megkapott mennyiségek Gaseq szoftverbe való bevitele és a szimuláció lefuttatása után megkapjuk a tényleges gáz összetételt. A légfesleg tényező megadásával változtathatjuk a szükséges levegő mennyiségét [4].

4.3. Az elemzési adatok kiértékelése, összegzése

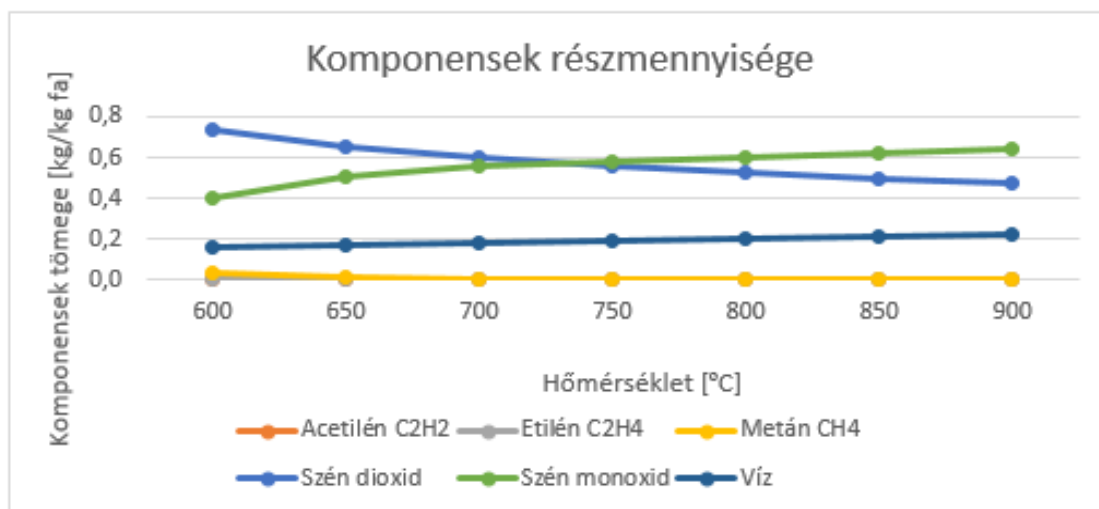
A korábban említett fafajták elgázosításának modellezését 600 és 900 °C közötti hőmérsékleteken végeztük el. A légfesleg tényező értékét 0,5 és 0,8 között változtattuk. A modellezést megismételtük különböző nedvességtartalmak figyelembe vételével. Minden esetben 1 kg tömegre számoltuk ki az összetételt. A nyomást 1 atmoszférának választottuk.

Az általunk vizsgált fafajták kémiai összetételüket tekintve közel megegyeznek, a számított eredmények jellegüket tekintve nem mutatnak számottevő eltérést, ezért a továbbiakban csak egy bizonyos fafajtának az eredményeit ismertetem. A választott fafajta a tölgyfa, mert az élőfa-készlet a tölgyfából viszonylag nagy.

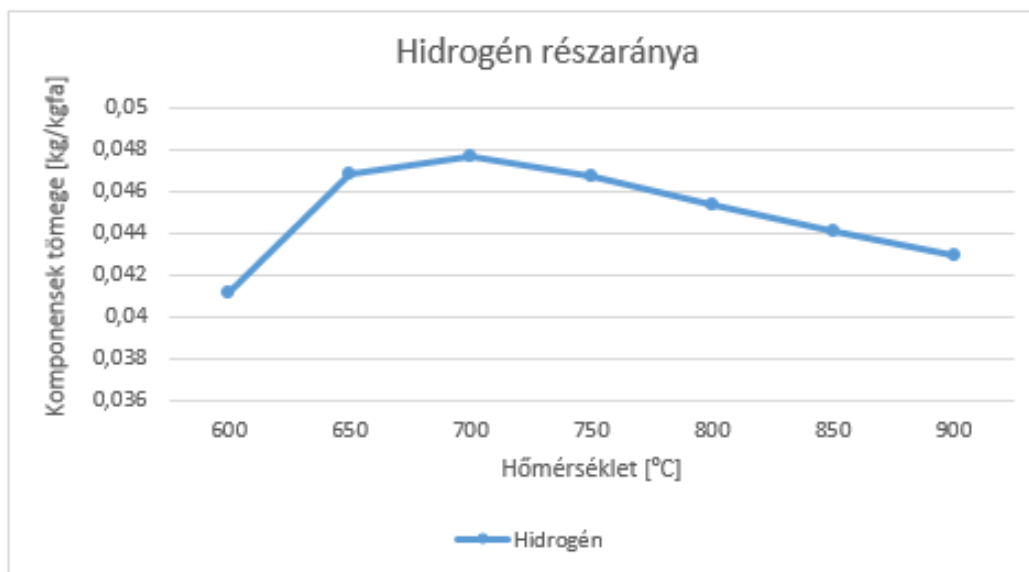
A modellezések alapján azt tapasztaltuk, hogy széntartalmú tüzelőanyag termikus kezelése során, a légfesleg függvényében változik a szintézis gázok mennyisége. A $\lambda = 0$ közeli hagyományos pirolízis során jellemzően az acetilén (C_2H_2) és az etilén (C_2H_4) mennyisége meghatározó. A gázosítási eljárás folyamán viszont az a karbonmennyiség, ami nem oxidálódott, a hidrogénnel egyesülve metán (CH_4) formájában szabadul fel. A keletkezett gázkeverék összetétele legnagyobb arányban hidrogénből, szén-monoxidból, széndioxidból, vízgőzből, és metánból áll. Ezek mellett még számos elem és molekula is megtalálható.

4.4. Komponensek részmenysége

A szén-monoxid mennyiségét vizsgálva, látható, hogy a hőmérséklet növelésével a mennyisége is megnő a szintézisgázban (2. ábra). A hidrogén mennyiségét vizsgálva megfigyelhető, hogy minél alacsonyabb az oxidáló közeg mennyisége, annál több hidrogéngáz fejleszthető (3. ábra). Amennyiben a hőmérsékletet is figyelembe vesszük, akkor 700 °C-on érhető el a maximális hidrogéntermelés. Ez azonban energetikai szempontból nem biztos, hogy a legoptimálisabb, hiszen a hidrogén égése közben keletkező víz kondenzációjával is számolnunk kell, ami rontja a gázunk fűtőértékét. Mivel a hidrogén és a szén-monoxid is energetikailag jól hasznosítható éghető gáz, ezért szükséges keresnünk egy olyan hőmérséklet optimumot, ahol a legkedvezőbb a gázok mennyisége.



2. ábra. 25% nedvességtartalmú, $\lambda = 0,6$ -os, elgázosítás folyamata során keletkező gázkeverék komponenseinek tömege



3. ábra. 25% nedvességtartalmú, $\lambda = 0,6$ -os, elgázosítás folyamata során keletkező hidrogén tömege

5. ENERGETIKA HATÉKONYSÁGOT JELLEMZŐ PARAMÉTEREK

Manapság az egyik legfontosabb kérdés az energiahatékonyság. Az energiahatékonyság szorosan kapcsolódik a kereskedelmi, az ipari versenyképesség, és egyre fontosabbá vált a környezetvédelem is.

Az energetika számítás célja az, hogy számszerűen meg tudjuk mondani, a gázosítással több villamos energiát tudunk-e előállítani, mint a hagyományos égetéssel. A fajlagos villamosenergia-sűrűségváltozás egy olyan (százalékban) megfogalmazott mérőszám, amivel meg tudjuk becsülni mennyivel hatékonyabb villamos energetikai megközelítésben a gázosítás a tüzelésnél. Először azonban a reakció hatásfokot szükséges meghatározni, amely megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyag energiatartalmának mekkora része jelenik meg az előállított gáztermékben.

$$\eta_r = \frac{e_k}{F_{fa}} \quad (4)$$

ahol:

- η_r – a reakció hatásfok;
- e_k – a gáz energia tartalma a fára vonatkoztatva;
- F_{fa} – a konkrét fajtája fűtőértéke.

$$E_{eé} = \eta_{turbina} \cdot F_{fa} \quad (5)$$

$$E_{eg} = \eta_{gázmotor} \cdot e_k \quad (6)$$

ahol:

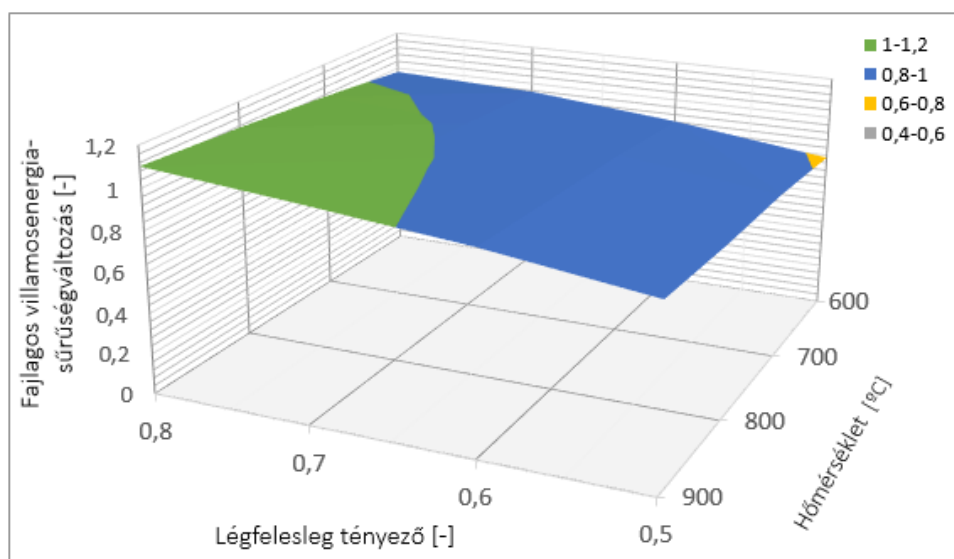
- $\eta_{turbina}$ – a gőzturbinák hatásfoka;
- $\eta_{gázmotor}$ – a gázmotor hatásfoka;
- $E_{eé}$ – az égetés hatékonysága;
- E_{eg} – a gázosítás hatékonysága.

$$\Delta e_e = \frac{E_{eg}}{E_{eé}} \quad (7)$$

ahol:

- Δe_e – fajlagos villamosenergia-sűrűségváltozás.

A 3. ábráról leolvasható, hogy jellemzően a nagyobb hőmérsékleten végzett gázosítás során lehet nagyobb villamosenergia-termelést elérni az égetéshez képest. Ilyen esetekben hatékony és környezetkímélő villamosenergia-termelés valósul meg. Látható, hogy hatékonyság tekintetében nem minden esetben kedvező a tüzelőanyagot gázosítani, de van egy kulcsfontosságú előnye, amely abban rejlik, hogy a gázosító alapú villamos erőmű gyorsabban, akár 20 percen belül is el tud indulni ellentétben az égetést alkalmazó, több órás indulási idővel rendelkező hőerőműhöz képest. Ezen eredmények segítségével a jövőben olyan új, kombinált ciklusú hibrid erőműtípusok létrehozását lehetne megvalósítani, amelyek számos előnnyel, gyorsabb rendelkezésre állási idővel, akár hatékonyabb működéssel rendelkeznek és környezetkímélőbbben tudnak kapcsoltn villamos energiát előállítani biomasszából.



4. ábra. A fajlagos villamosenergia-sűrűségváltozás mértéke a légfelesleg tényező és a hőmérséklet függvényében

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kiértékeléssel elősegíthető az alapanyag kihasználtságának javítása, és a tüzelőanyag energiatartalmának átalakítása a legjobb hatásfokkal. A választásunk azért erre a témára esett, mert rendkívül érdekes tudományos terület és jelentős még a fejlesztési lehetőség, mivel valóságos esetben módosítanunk kellene a veszteségek hatásával. A gyakorlatban ugyanis nagyon nehezen kivitelezhető, hogy a folyamat állandó hőmérsékleten játszódjon le, továbbá az esetleges nyomásingadozással is számolnunk kell. A kazánok felépítéséből adódóan elkerülhetetlenek az áramlási és szigetelési veszteségek. Az állandó légfelesleg tényező biztosítása is problémás lehet.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KERÉNYI, A.:** *Általános környezetvédelem* Mozaik kiadó, 2006. p.386.
- [2] **MAROSVÖLGYI, B.:** *Faenergetika és erdőgazdálkodás a klímaváltozás tükrében*, 2010. TUDOMÁNYOS TANÁCSKOZÁS
- [3] **BODNÁR, I.:** *Fás szárú biomasszáék és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*, Miskolc, 2017.
- [4] Gaseq szoftver: <http://www.gaseq.co.uk/> LETÖLTÉSI IDŐ: 2017.03.07. VERZIÓ: 0.79

A KARBANTARTÁS MINT ÉRTÉKTEREMTŐ TEVÉKENYSÉG

MAINTENANCE AS A VALUE CREATIVE WORK

JANIK József¹, VERMES Pál²

¹MTA doktor, ny. egyetemi tanár, professor emeritus, drjanikjozsef@t-online.hu
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet,
H-2103, Gödöllő, Páter Károly u. 1.

²PhD, ny. főiskolai tanár, professor emeritus, vermes.pal@gmail.com
Pallas Athéné Egyetem, Gazdálkodási Kar
H-5001 Szolnok, Tiszaligeti sétány 14.

Kivonat: A műszaki-gazdasági változások a világban új kihívásokat jelentenek a karbantartás számára is. Kérdés, hogy a karbantartás hozzájárulhat-e a vállalat alapvető céljának teljesüléséhez. A választ a cikk a karbantartás és az értéklánc, valamint a versenyképesség összefüggéseiben keresi.

Kulcsszavak: karbantartás, értéklánc, versenyképesség

Abstract: Technical and economic changes in the world mean new challenges for the maintenance too. Whether or not, the maintenance can contribute to the fruition of ultimate purpose of company. The answer is searched in relationships with maintenance, value chain and competitiveness by the publication.

Keywords: maintenance, value chain, competitiveness

1. BEVEZETÉS: RÖVIDEN A KARBANTARTÁSRÓL

A termelőeszközök használatának célja a kívánt feladatok (funkciók) ellátása. A funkcióteljesítés az üzemeltetés során valósul meg, miközben a gép szükségszerűen elhasználódik. A **funkcióképesség** feltétele, hogy az eszközöket a funkcióteljesítéshez szükséges tartalékkal, készlettel állítsák elő, illetve a lecsökkent készletet a javítás során pótolják. Ezt a készletet nevezik **elhasználódási tartaléknak (EHT)** – ez a használati értéket jelenti az üzemeltető számára –, amelynek meglétéről a karbantartás gondoskodik, ennek kihasználása pedig az üzemeltetés feladata [1].

A karbantartás a funkcióképesség biztosítása érdekében három csoportba sorolható **intézkedéseket** tehet: az **ápolás-gondozás** feladatát látjuk el, ha intézkedésünkkel csak az EHT leépülését lehet mérsékelni, az **ellenőrzés-felülvizsgálat** során a mérhető jellemzők (ún. diagnosztikai paraméterek) tényleges (aktuális) értékeit tudjuk megállapítani, a **helyreállítás-javítás** során a funkcióképes állapot elérése (az EHT pótlása) a cél.

A karbantartás műszaki-szervezési-gazdasági jellegű komplex tevékenység (intézkedések összessége) a funkcióképes állapot megóvására és újbóli előállítására, valamint a tényleges (jelenlegi) állapot megállapítására és értékelésére.

A karbantartási stratégia megvalósítása érdekében a karbantartási intézkedésekből és ezek végrehajtására szolgáló elemekből működő **karbantartási rendszert** kell létrehozni, amely magában foglalja a szükséges erőforrásokat (eszközök, anyagok, munkaerő, dokumentációk, információk), a karbantartási folyamatokat, a karbantartás szervezetét, a karbantartási intézkedések jellegét és időpontját (gyakoriságát). A **kár-, idő-és állapotorientált stratégiákat** kieséses, ciklikus-periódikus (egyik válfaja a tervszerű megelőző karbantartás – TMK) és a felülvizsgálaton alapuló karbantartási rendszerek, módszerek valósítják meg. A karbantartási feladatokat **saját kapacitással** és/vagy külső **szolgáltatóval** lehet ellátni.

A karbantartás a feladatát a rendelkezésre állás, a biztonság és a gazdaságosság hármas követelményei között egyensúlyozva látja el. A **gazdaságosság** a többi tényezővel egyenrangú szempont, amelynek megítélése rendszerszemléletű módszerek alkalmazását igényli.

Az ipari termelés múlt századi fejlődésével és ebből eredő szigorodó követelményekkel párhuzamosan a **karbantartási rendszerek** is változtak, **fejlődtek**. Az 1960-as évekig a kieséses (meghibásodásig üzemelés) karbantartás, majd az 1970-es évek közepéig a merev ciklusos (TMK) rendszer volt az uralkodó. Ezt követte az állapotfüggő karbantartás megjelenése már az 1970-es években. Ezt követően az 1980-as és 1990-es években előbb a megbízhatóság központú karbantartás (RCM), majd a teljeskörű produktív karbantartás (TPM), illetve ezek változatai jelentek meg új irányzatként, nagyjából az új teljeskörű minőségirányítási rendszer (TQM) megjelenésével egyidőben.

Az 1990-es évekre a menedzsment-területek sokat változtak, különösen az eszközgazdálkodást illetően. **John Moubrey** (Aladon Ltd) jeletkezett már alkalmazott vagy alkalmazandó elgondolásokkal, ezeket 15 területre megfogalmazott **alapelv-változásokban** foglalta össze [2]:

1. A karbantartás nem az eszközök állapotát, hanem a **funkcióját** őrzi.
2. A megelőző karbantartás nem csak a hibák megelőzése miatt, hanem a **következmények elkerüléséért**, csökkentéséért létezik.
3. A karbantartás nemcsak a rendelkezésreállásra és költségére, hanem az üzleti hatékonyság és kockázat **minden területére** (biztonság, környezet, energia- hatékonyság, termékminőség, szolgáltatások) hatással van.
4. A legtöbb hiba **nem lesz gyakoribb az eszköz öregedésével** (így a ciklusos nagyjavítás káros lehet).
5. Döntéseket csaknem mindig elégtelen hibastatisztikák alapján hozzák (inkább az **okok!**)
6. A három alapstratégia mellett a **detektáló** (hibakereső) karbantartás is szükséges.
7. Az állapotfüggő karbantartási feladatok gyakorisága nem az eszköz meghibásodásának gyakoriságától és kritikusságától függ, hanem a **P–F intervallumtól**.
8. Ha mindkét módszer műszakilag megfelel, az **állapotfüggő** csaknem mindig **hatékonyabb és olcsóbb** mint a ciklusidőn alapuló.
9. Az összetett, **súlyos hibák** bekövetkezése nem véletlen, hanem **részben kezelhetők**.
10. Egy megbízhatatlan eszköz tökéletesítésének legjobb módja nem a tervezés, hanem először a működtetés módját javítjuk.
11. Nem egységes karbantartási stratégiát, hanem **stratégia-mixet** kell alkalmazni.
12. Ne a vezető készítse a karbantartási tervet, a feladat-leírásokat, hanem a **művezető és a karbantartók**, a vezetés a végrehajtáshoz szükséges eszközöket biztosítsa.
13. A karbantartási **programot** ne a karbantartás egyedül készítse, hanem a **termeléssel együtt**.
14. Új eszközök karbantartási **programját nem a gyártók** tudják legjobban kidolgozni.
15. **Nem** sikerülhet az összes karbantartási problémára **gyors megoldást** találni.

A változott elvek egy része a karbantartás „belügyeire”, többségük a termelés és a karbantartás együttműködésére vonatkozik.

Egy vállalat (termelőrendszer) a célját úgy érheti el, ha a kimeneteknek nagyobb értéke van mint a bemenetek és a folyamatba történt beruházás amortizációjának összege. Ezzel szemben a technikai rendszerek hasznos kimenetének és a bemeneteinek hányadosa, a hatásfok mindig kisebb, mint egy, ami gazdasági folyamatoknál a csődöt jelentené [3].

A **cikk** arra keresi a választ, hogy a **karbantartás miként tudja a vállalat célélérését** a maga sajátos eszközeivel, feltételi (támogató) jellege ellenére, számottevően **elősegíteni**. Mindezt a célok megvalósításával összefüggésben lévő két fogalom, az **értékteremtés** és a **versenyképesség** elemzésével, segítségével teszi.

2. KIHÍVÁSOK ÉS VÁLASZOK KERESÉSE A GAZDASÁGBAN

Számos olyan **változás** következett be a **világgazdaságban** az ezredforduló tájáig, amelyek a

nemzetgazdaságok szintjén is jelentkeztek és nem kevés gondot, problémát, vagyis új kihívásokat jelentettek és jelentenek ma is. A kiemelések önkényesek, vázlatosak, korántsem teljesek, de ezekhez szorosabban vagy lazábban kapcsolódik a karbantartás.

Nyilvánvalóvá váltak a **gazdasági növekedés határai**. A felismerés nem új, de a probléma aktuális és jó ideig az is marad. A Római Klub 1972-ben készült tanulmánya (A növekedés határai) legfeljebb néhány évtizedre elegendőnek prognosztizálta a Föld nem megújuló energia-és nyersanyag készletét. Harminc év után került sor a jelentés finomítására. Érdekessége, hogy újszerű, lényeges fogalmat vezetett be, az ún. „ökológiai lábnyom”-ot. A kiegészítő jelentés következtetése súlyos: az emberi forráshasználat már az ezredfordulón közel 20%-kal meghaladta a Föld eltartóképességét, ami az emberiség létszámának várható drasztikus emelkedése tükrében egyre fokozódó problémát jelent [4]. A jelentés többek között elősegítette az „eldobó szemlélet” visszaszorulását, ami elvben a karbantartás felértékelődésével járt. Elősegítette az újrahasznosítás megoldásait és terjedését, a hulladék-hasznosítást, az alternatív energiaforrások felhasználását.

A világpiacon **verseny éleződik**. Verseny folyik az erőforrásokért, a piacokért. Esélye a versenyképes, technikailag fejlett, tökeerős, korszerű berendezésekkel, képzett munkaerővel, piacokkal rendelkező cégeknek van. A helyzet a globalizációnak kedvez, a vállalati tevékenységek szakosodnak, a feladatok kiszervezése (outsourcing) bővül.

Hat a **Miller-törvény**. Az eddigi termelőközpontú szemlélet megváltozik: egyre inkább a **fogyasztás irányítja a termelést**, és nem a már megtermelt árukhoz keresnek a termelők fogyasztót [5]. A szolgáltatásokra is vonatkozik a megállapítás, amelybe – tágabb értelmezésben – beletartozik a karbantartás is.

Tudásalapú megközelítések szerepe nő. A **műszaki-tudományos eredmények** szinte berobbantak (például a nanotechnológia, a génmanipulálás), különösen az információs technológia (eszközök, adattömeg, kommunikáció) fejlődött. A tudásalapú szolgáltatások szerepe nőtt. Példaként: az integrált áramkörök összetettsége 50 évig egy-két évente megduplázódott (Moore-törvény), bár újabban a miniaturizálás lassul [6].

Behálózák a világot. A kutatások elméleti szinten intenzíven folynak, a gyakorlati alkalmazás irányában is megindultak. Létező, általános, hatékony eszközzé vált az internetes világháló. Érinti a probléma a termelést és a karbantartást is [7].

A két hatalmas világ gazdasági ág, az **ipar** és a **mezőgazdaság** a korábbi, cikkünkben nem tárgyalt fejlődési szakaszok után az egyaránt **4.0**-val jelzett fázist kezeli a jelenlegi és a jövőbeli időszakokra.

Ipar 4.0: az információs technológia és az automatizálás összefonódása, illetve a gyártási módszerek alapvető megváltoztatását hozó időszak összefoglaló neve. A hazánkban 2016-ban 40 vállalat és intézmény részvételével Nemzeti Technológiai Platform alakult, amely az „**ipar digitalizációja**”-ként kezeli az időszakot. A termelési feladatokat az embertől átvevő gépek működésének több feltétele van, ezek: gépek egymással való kommunikációja emberi közreműködés nélkül (pl. gyártósori robotok alkatrészekkel önállóan kiszolgálják egymást); járműiparban az önmagukat irányító járművek kommunikálnak egymással vagy a forgalomirányító berendezésekkel; mesterséges intelligencia (gépek tudatosan, önállóan logikus gondolkodásra és tanulásra képesek); dolgok internete (kommunikáló gépek által használt hálózat); big-data (óriási adathalmaz felhőalapú kezelése az előző feltételek mindegyikéhez) [8]. Az első fejlődési irány alapja a kiber-fizikai termelő rendszerek (CPPS) elterjedése, mely a termelő egységek integrálásával teszi lehetővé, hogy a termelés vásárló-orientált és egyedi legyen. A CPPS-eknek nem csupán a termelési folyamatra kell összpontosítaniuk, hanem a teljes ellátó rendszer menedzsmentjére, beleértve a karbantartást is. A negyedik ipari forradalom tehát annak köszönhető, hogy olyan technológiai elemek és módszerek alkalmazása válik lehetővé, melyekkel még komplexebb rendszerek, azaz teljes ellátási láncok hálózata működtethető összehangoltan és automatizált módon [9].

Mezőgazdaság 4.0: az ipar mintájára értelmezhető. Egyik mozgatója, hogy a FAO szerint 2025-ben a Föld népessége eléri a 9,6 milliárdot. Hogy ennyi ember elegendő élelemhez jusson, a mezőgazdasági termelést 70%-kal kell növelni. Ilyen szintű eredmények már születtek, példa erre a Claas és a T-System együttműködésében megvalósult kombájn-traktorpark hálólalapú intelligens betakarítási rendszere [10].

3. ÉRTÉKTEREMTÉS, ÉRTÉKLÁNC

A termelési folyamat olyan termékeket eredményez, amelyek akár szolgáltatásként is felfoghatók, hiszen minden terméknek van valamilyen arányban szolgáltatási tartalma. A fizikai javak mintegy “tárolják” a szolgáltatásokat, és együtt jelentik a fogyasztók számára a **használati értéket**. Nincsenek egyetemes értéknormák, a saját szükségletét mindenki hasznosnak tartja [3].

Egy vállalat alapvető **célja** Chikán [11] szerint az, hogy fogyasztói igényt elégítsen ki nyereség elérése mellett. Ez az **értékteremtő folyamatok** funkciója, amely “erőforrások beszerzése, kezelése és felhasználása abból a célból, hogy a fogyasztó számára értéket állítsanak elő” [12]. Az **értéklánc** általában a vállalatban belüli alaptevékenységeket (termelés, kimenő logisztika, marketing és értékesítés, értékesítési szolgáltatás), valamint támogató tevékenységeket (infrastruktúra, humán menedzsment, technológiai fejlesztés, beszerzés) tartalmazza a Porter- modell szerint [12]. Az értéklánc fizikai elemeinek megvalósulását az **ellátási lánc** (újában: háló) jelenti, ez a “tevékenységek összekapcsolódó sorozata, amelyben minden a végső célt, a fogyasztó igényeinek kielégítését szolgálja”, és általában vállalatok között értelmezhető. A hivatkozott munkák a Porter-modell felsorolt tevékenységeit tekintik az értékteremtő folyamatokhoz tartozónak [13].

Az **értéklánc lényege** a vállalati tevékenységek értékalkotó összekapcsolása. Nem egyszerű megválaszolni azt, hogy az egyes tevékenységek hogyan, milyen mértékben járulnak hozzá az értékteremtéshez. Valamelyest segíthet a megítélésben az, hogy a fogyasztó érték-dimenziói: használati-, hely-és idő-értékek. A fordított kérdés az, hogy mikor nem minősül egy folyamat értékteremtőnek: erre sincsen egyértelmű válasz [14].

Feltevésünk az, hogy a **karbantartás hozzájárul** a szolgáltatásnak tekinthető tevékenységével az **értékteremtéshez**. Ennek igazolását kíséreljük meg a versenyképesség, valamint a a karbantartást is érintő várható változások tükrében.

4. VERSENYPÉSSÉG

4.1. A versenyképesség fogalma, elemei

Egy vállalat versenyképes, ha terméke vagy szolgáltatása olyan tulajdonságokkal, minőséggel, árral rendelkezik, amely keresett a piacon [15]. A termelékenység növelése javítja a versenyképességet, de ezt a beruházási célokkal összefüggésben elsősorban nem a munkaerő-költség csökkentésével, hanem a termelési képességek fejlesztésével javasolt elérni. A termelési képességek (magas minőség, adaptív termelési rendszer, alacsony költségigényű/nagy volumenű termelés) versenyfegyvert jelentenek.

A versenyképesség vállalati kategóriaként feltételezi a makrogazdasági környezet komplex hatásainak figyelembevételét is. Chikán szerint [13] a vállalatok versenyképessége nem más, mint a vállalat képessége a külső és belső változások érzékelésére, illetve ezek kiváltására a tartós szervezeti eredmény (siker) fenntartása érdekében.

Marosán megfogalmazásában [16] a **versenyképesség** a fogyasztó által, egy adott terméknek a szóba jöhető más termékekkel való összehasonlítása alapján érzékelt előnye (vagy éppen hátránya). A versenyképesség négy meghatározó **eleme**: a működés

hatékonysága; a termék / szolgáltatás minősége; az innovációs képesség; a fogyasztó-központúság. A versenyképesség a cég egésze teljesítményének eredménye. Minden vállalati tevékenység – természetesen eltérő mértékben – hat a versenyképesség alakulására. Kiemelt szerepe a termelésnek van. A termelési folyamattal közvetlenül kapcsolatban lévő **elemei**: alacsony ár; magas minőség; gyors és biztonságos kiszolgálás; fogyasztói igényeknek megfelelő termék; széles termék / szolgáltatás választék. A **termelési folyamat** versenyképességével (igénykielégítéssel) kapcsolatban általában **öt teljesítménycélt** fogalmaznak meg: minőség; gyorsaság; költség; megbízhatóság; rugalmasság; igényeknek megfeleléség.

Chikán megközelítését felhasználva a [17] kutatás műhelytanulmánya rögzíti, hogy a versenyképességhez a vállalatnak olyan terméket (szolgáltatáscsomagot) kell a vevőinek kínálnia, amely a vevő szemében jobb mint a versenytársaké (kedvezőbb piaci versenykritériumokat teljesít), és egyben megéri a vállalatnak (nyereséget biztosít). Ehhez a vállalatnak **működőképesnek** és **változásoképesnek** kell lennie, valamint **szervezeti képességek** (munkahelyi gyakorlat, működési rutin és egyéni képességek) szükségesek a versenyképességet jelentő teljesítmény eléréséhez.

Takács szerint a vállalati stratégia megvalósításához szükséges **versenyelőny forrásain** (ár; rugalmasság; minőség; megbízhatóság; szolgáltatás) kívül **vállalati képességek** (erőforrások; szaktudás; termékek; gépek; eljárások) is kellenek. Utóbbiak azt jelentik, hogy a vállalat mit tud ajánlani (kimenet) és hogyan (mivel rendelkezik a végrehajtáshoz–bemenet). A vállalat a lényegi képességei (ezek a **versenyképességei**) révén másoknál (versenytársak) jobban tudhat valamit végrehajtani. Ez a megközelítés alapvetően megfelel a *Chikán* és *Marosán* által jegyzett modelleknek [14].

4.2. A karbantartás lehetőségei a versenyképesség növelésében

A **karbantartás** egy vállalat összes tárgyi eszközeinek funkcióképes állapotáért felel. Általános elvi és gyakorlati feladata a funkcióellátáshoz szükséges készlet, a bevezetésben is említett elhasználódási tartalék (EHT) biztosítása a vállalat működésének minden területén (termelés, közlekedés, energiaellátás, biztonság, szociális ellátás, adminisztráció, stb.) a funkció-teljesítésre használt eszközök üzemeltetéséhez. Tehát **EHT-t “termel”**, hozzájárulva a vállalati (szevezeti) képességek (kiemelten a termelőeszköz-képességek) érvényesüléséhez. Ha a karbantartás ebbéli tevékenysége közvetlenül a versenyelőnyt jelentő tevékenységéhez kötődik, akkor az értékkeremtéshez **közvetlenül** hozzájárul. Egyéb vállalati tevékenységek karbantartási feladatai **közvetetten** szolgálhatják a **versenyképességet**.

A hivatkozott irodalmi források többsége a **karbantartást** egyáltalán nem hozza összefüggésbe a témával, néhánynál **említés szintjén** előfordul. Például: A versenyképességet döntően meghatározza a kapacitás kihasználtsága, a termelési technológia gazdaságossága, a minőségi termelésre való képessége. Mindezek közvetlen kapcsolatban vannak a karbantartással [15].

A következőkben azokat a **lehetőségeket** elemezzük, amelyek a karbantartás nyilvánvalóan versenyképesség-növelő tényezői lehetnek.

a/ Rendelkezésreállítás növelése a legközvetlenebbül érzékelhető pozitív hatás. Reálisan a tervezett üzemidő a váratlan hibák miatti állásidővel csökkentett tényleges üzemidőnek és a tervezett üzemidőnek a hányadosával számszerűsíthető. Nyilvánvaló, hogy ha ez a hányados (amit a karbantartási szakirodalom általában **készenléti tényezőnek** nevez) nő, több vagy esetleg többféle versenyképes termék/szolgáltatás termelésére/nyújtására ad lehetőséget. Mi módon lehet az **állásidőt** csökkenteni karbantartási eszközökkel?

Célszerűen választott és hatékonyan alkalmazott **karbantartási stratégiákkal** és **módszerekkel** a rendelkezésreállítás befolyásolható. Külföldi vizsgálatok erre vonatkozó eredményeit is tartalmazó előadásunkban korábban már beszámoltunk. A cégek általában a

kapacitás jobb kihasználása, a termelékenység növekedése miatt tartották kedvezőnek a rendelkezésreállás (az eszközök megbízhatóságának) növekedését. A magas (95% feletti) rendelkezésreállás a legeredményesebb cégeket jellemezte [18]. Külön említhető a **kockázatokon** alapuló stratégia alkalmazása [19], amellyel a kockázati mátrix segítségével kijelölt kritikus szerkezeti részek meghibásodási valószínűségét csökkenteni lehet.

Karbantartási technológiák és eszközei hozzáértő alkalmazásával a termelőeszközök tényleges állapota egyre jobban megismerhető és prognosztizálható, a hibadetektálás és hibaelhárítás időszükséglete csökkenthető. Szakmai fórumokon, kiállításokon, mindenkinek hozzáférhetően az interneten **sok cég** különféle **ajánlatával** lehet találkozni. A kínált diagnosztikai eszközök, rendszerek, javításhoz használható eszközök, anyagok, szolgáltatások igénybevétele kiterjeszti az üzemi karbantartás lehetőségeit és hozzájárulását a vállalat versenyképességéhez.

Menedzsment-szemlélettel és eszközeivel is növelhető a karbantartás hatékonysága. Sok lehetőség van a karbantartási folyamat (tervezés, előkészítés, végrehajtás, értékelés) szakszerű megszervezésében, végrehajtásában, ami az állásidő csökkenésében is megnyilvánulhat. **Példaként** egy cég internetes ajánlatából: “néhány olyan eszköz, amivel a cégében javíthatja a versenyképességet: kevesebb állási és karbantartási idő és ebből fakadó jobb gépkihasználtság; minőségbiztosítási rendszer; viselkedési kódex segítségével stressz csökkentés cégen belül; munkavállalók egészség, munkaképesség megőrzésének segítése”. Menedzsment eszköz a karbantartás egy részének a **kiszervezése** (outsourcing) olyan tevékenységekre, vagy részeire, amelyeket mások jobban, hatékonyabban tudnak elvégezni. Utóbbiról részletesebben írtunk [20].

A **karbantartó személyzet** jellemzői (összetétele, kapacitása, ismeretei, tapasztalatai) feleljenek meg a jelenlegi, de méginkább a jövőbeli **szigorodó követelményeknek**. Rendszeres és célirányos továbbképzésekkel elkerülhető, hogy a karbantartás-menedzsment vagy a végrehajtó személyzet váljon a szűk keresztmetszetté.

A hálózat-kutatások alkalmazásával kapcsolatban olvasható olyan kérdésfeltevés és válasz, hogy milyen **hálózati topográfiával** tervezzék a termelőrendszert, amely a leginkább ellenáll a véletlen meghibásodásnak vagy egy külső támadásnak. A válaszhoz az eltérő hálózattípusok tulajdonságait lehet felhasználni a hibakockázat és a karbantartási hatékonyság optimalizálása érdekében, és mátrix-tervezési modellt javasolnak [7]. Ez is a nem várt hibák és az állásidők csökkentése irányába mutat.

A karbantartás **jövőbeli lehetőségei** jelentősen bővülnek. Egyrészt az intelligens **gyártó-rendszerek** programozott logikai vezérlései **automatikus önellenőrzésre**, diagnózis készítésére képesek, sőt akár távolról is automatikus folyamatvezérlő karbantartásra is. Másrészt **további megoldások**: elektronikus hiba-és távdiagnosztika, automatikus számítógép vezérlésű gépjavítások; integrált elektronikák alkalmazása a karbantartásban; mesterséges intelligenciák alkalmazása a döntéshozatalban; nanotechnológiai fejlesztések hasznosítása a hibamentesség és a javítás érdekében [25].

b/ Karbantartás hatása a termékminőségre. A termékminőségre ható számos tényező közül témánk csak a gépek (és a berendezések, szerszámok, stb.) karbantartásával kapcsolatos lehetőségek átgondolását igényli.

A minőség a gépek adott feladatra történő kiválasztásának megfelelőségétől (alkalmasak-e a gyártási feladat elvégzésére) és a gépkarbantartás megfelelőségétől (a funkcióellátáshoz szükséges gépparaméterek minden aktuális időpontban megfelelőek-e) függ.

Vizsgálják a **gépet** és a **folyamatot**, mindkettőnél a **képességet** (adottság) és a **beállítottságot** (pontos “célzás” jellemzője). A vizsgálat mérésekből és előírt statisztikai jellemzők számításából, kiértékeléséből áll. A minőségi jellemzők ingadozása adottság egy jól kialakított folyamatnál, a **középtérték beállítása** szinte teljes biztonsággal, a szakmai

ismeretek által **végrehajtható** [21]. A beállítási feladatok, a karbantartók és a kezelők (beállítók) közötti munkamegosztás szerint elvégezhetők, elérve a termékek, munkadarabok beállítás oldaláról való megfelelésüket.

Számszerű összefüggést nem ismerünk a karbantartás minőségére gyakorolt hatására, de ténykérdés, hogy a minőségi hibák gyakori oka a karbantartás.

c/ Gazdasági szempontok is szerepet kapnak a karbantartás megítélése kapcsán.

Különböző ciklusú karbantartási stratégiák esetén a megbízhatóság növekedése a rendszer egészére a karbantartási költségek erőteljes, 95 % felett drasztikus növekedésével jár [18].

Még mindig számottevő, gyakori a karbantartási költségek csökkentését célzó vállalati intézkedés. Ez elfogadható az ésszerű takarékoság és a karbantartási folyamatban is jelenlevő veszteségek megszüntetését célozva. Káros viszont, ha ez akadályozza a karbantartás olyan fejlesztését, amely fokozná a cég versenyképességét, de ráfordítást igényel. Ilyen esetben a **termelőrendszer egészére** (benne a karbantartásra is) vonatkozó, tehát rendszerszemléletű gazdaságossági számítás nyújthat megalapozott orientálást a döntéshez [22].

Másképpen fogalmazva: nem arra van szükség, hogy a karbantartási költségeket minimalizálják, hanem a termelőrendszer fejlesztése (például automatizálása) során a felszabaduló bérköltségeket a beruházások és a karbantartási többletköltségek összegével helyettesítsék. Az a fontos, hogy a karbantartási ráfordítások, amelyeket a versenyképesség igényelt, ténylegesen kielégítsék a versenyképesség követelményeit. Így egyértelmű, hogy a karbantartás az **értékteremtési folyamat** részévé válik.

4.3. A versenyképesség értékelése

Azokat az értékelési módszereket, modelleket **vázoljuk**, melyekben a karbantartás egyes jellemzői (leginkább a költségei) előfordulnak, vagy hatással vannak a versenyképességre.

a/ Hat tényező az átalakítási folyamat versenyképességre gyakorolt hatásának értékelésére. Ezek **mércét jelentenek** a folyamatra, a kimenetre és a végeredményre: hatékonyság; eredményesség; kapacitás; minőség; válaszadási idő; rugalmasság. A további tényezők közül a legfontosabb a **szűk keresztmetszet** létezése: erőforrásban, minőségben [16].

b/ Vállalati versenyképességi index –VVI [17]. A vállalat versenyképességét hivatott számszerűsíteni a *Chikán* által alkotott mutató, amely az ismert három részből áll:

M–működőképesség, *V*–változásképeség, *T*–üzleti teljesítmény.

Ezekkel az elemekkel: $VVI = (M + V) \times T$

Minden részben eltérő számú mutatócsoportok, ezekben mutatók vannak. A mutatókat **kérdőív** segítségével 1–5-ig **pontszámokat** rendelnek. A négy szintre számtani átlagokat számítanak, így megkapják az “eredő” VVI-t. Az index segítségével értékelhető egy vállalat versenyképességének **időbeli változása**, vagy különböző vállalatok indexeit össze lehet **hasonlíttani**.

c/ Technológiai (termelési) rendszerek hatékonysága [23].

Ilyen rendszereket szükséglet-kielégítés (értékteremtés) céljára hoznak létre.

Az értéktermelés nagyságát a rendszer megbízhatósága és az egységnyi működési idő alatt létrehozott érték nagysága szabja meg. Értékteremtés szempontjából gazdasági kritériumok szerint optimális rendszer létrehozása a cél.

Gazdasági szempontként a termelőberendezésekkel folytatott tevékenység hatékonyságát célszerű választani. A **hatékonysági mutató** (H) meghatározott időintervallumra (például évre) képezhető:

$$H = \frac{R(t) \times W}{B_k + K_k}$$

ahol $R(t)$: rendszer megbízhatósága,

W : értéktermelés [Ft],

B_k : rendszer beruházási költsége [Ft],

K_k : folyamatos karbantartási költségek [Ft].

Az értéktermelés nagyságát a kapacitás kiszámításán keresztül az időszak bevételeiből lehet meghatározni. Mivel a **karbantartás** befolyásolja a termelő berendezések megbízhatóságát, hatással van a **versenyképességre**, ezáltal az értékteremtés nagyságára.

d/ Gazdaságos eszközelettartam

Elvben a selejtezésig teljesítendő üzemelési (használati) idő meghatározásának alapja lehet a gépköltségek és a géppel elért teljesítmények együttes minimalizálása. Az úgynevezett **Janik-féle modell** ezt az elvet valósítja meg [24]. A módszer egy **fajlagos** (teljesítmény-egységre eső) összes költség-**mutató optimumának** (vagyis minimumának) meghatározásán alapul. Az **összes költség** a beruházási (értékcsökkenési), az üzemeltetési és a karbantartási költségek összegét jelenti.

A módszer alkalmazásának célszerű **lépései**:

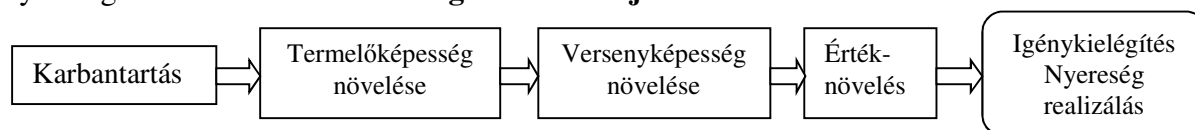
- az első év összes éves költségének és az éves (termelési) teljesítményének, munkamennyiségének (például: *nha, tonna, db, tkm*, stb.) meghatározása;
- az előző adatok hányadosaként értelmezett fajlagos költségmutatót (k_f) képezzük az első évre vonatkozóan;
- a következő évek költségmutatóit mindig úgy képezzük, hogy a tárgyévi összes költségeket, illetve a tárgyévi munkateljesítményeket a megelőző évek halmozott (kumulált) értékeihez hozzáadjuk és így számoljuk a tárgyévi k_f hányadosokat;
- az optimális üzembentartás (selejtezés) időpontját (évet) a k_f minimális értéke jelöli ki.

Az így kapott „görbét” (k_f az évek függvényében) praktikusán **gépüzemviteli karakterisztikának** nevezzük. Az adott gépet addig gazdaságos üzemben tartani, amíg az el nem éri a kumulált fajlagos költségek minimumát.

A gyakorlati **alkalmazásra érett** módszer adatai között szereplő karbantartási költségen keresztül a **karbantartás** hozzájárulhat a gazdaságosabb géphasználathoz, javítva ezzel a **versenyképességet**.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Láttuk, hogy a **karbantartás** hozzá tud járulni a versenyelőny forrásainak (különösen a minőség, megbízhatóság) és a vállalati versenyképességek (kiemelten az erőforrások, gépek) megfelelőségéhez, vagyis a **versenyképesség** növeléséhez. Ennek eredményeként a termék/szolgáltatás olyan értéket képvisel a karbantartás **értékteremtő** hozzájárulása révén is, amely az értéklánc működése során tényleges fogyasztói igényt elégít ki és megfelelő nyereséget is hoz. Tehát a **hatás logikai sorrendje**:



Ez a **hatás állandóan** jelen van a vállalati értékláncban, **mértéke** a karbantartás színvonalától, lehetőségeitől, törekvéseitől is függ. Ezért is fontos a **karbantartás** fizikai-emberi erőforrásainak **fejlesztése**, amely ebben a megközelítésben nemcsak a karbantartás,

hanem a vállalat egészének érdeke. Komoly eszközfejlesztések, valamint oktatás, képzés és átképzés nélkül a várható feladatoknak a mai karbantartás nem tud megfelelni. Segítene ebben is a **vállalati kultúra** nemcsak a karbantartást érintő fejlődése.

Országos szinten el kellene érni a karbantartási szakterület és tudományterület (?) társadalmi elfogadottságának, elismertségének emelkedését. Segíthet ebben az **Országos Karbantartási Stratégia** megfelelő szintű elfogadása. Alkotott egy ilyen a MIKSZ (Magyar Ipari Karbantartók Szövetsége) 2015-ben. Témánk szempontjából kedvező, hogy a stratégiában a karbantartás által kínált értékajánlatok között szerepel: "Értékteremtés mindenfajta kockázatát csökkenti". [26]

Átgondolandó, van-e szükség és lehetőség egy **karbantartási szabvány** megalkotására. Ez segíthetne az egységes fogalom-használatban is, valamint némileg módosítani lehetne a karbantartás feladatait, talán éppen az értékteremtés szempontjából.

6.FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **VERMES P., JANIK J.:** *Elhasználódási tartalék – karbantartási alapfogalom avagy a lényeg elfedése?* In: Gépgyártástechnológia, 1998. XXXVIII. évf. 6. sz. pp. 35-40.
- [2] **MOUBRAY, J.:** *Karbantartási menedzsment–egy új paradigma.*In: Karbantartás és diagnosztika, III. évf. 2. és 3. sz.,Budapest: A.A.Stádium Kft, 1996. pp.31-38. és 28-38.
- [3] **STARR, M. K.:** *Rendszerszemléletű termelésvezetés, termelésszervezés.* Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1973. p. 563
- [4] **ROSTA I.:** *A tudomány történetéből–Világproblémák, globalizáció.* In: Magyar Tudomány, 2008. dec. <http://www.matud.iif.hu/08dec/10.htm> pp.1516-1523.
- [5] **VÖRÖS M.:** *Fogyasztás és kultúra. 1. rész: Fogyasztás, idő, történelem.* <http://www.c3.hu/scipta/2122/voros.htm> Letöltés: 2017.05.07.
- [6] **SZILÁGYI SZ.:** *Szemünk láttára vesztí érvényét Moore törvénye.* <http://bitport.hu> 2017 Letöltés: 2017. 05. 11.
- [7] **KOSTYÁN ZS. T.:** *Bekössük? Ne kössük? – Avagy a hálózatalmélet alkalmazása a karbantartás-menedzsmentben.* In: Vezetéstudomány 47(9) szept.2016. pp. 26-40.
- [8] **BARKOVITS B.:** *Tisztázzuk az Ipar 4.0 alapfogalmait!* <https://autopro.hu/trend/> Letöltés: 2017.05.07.
- [9] **ABONYI J.-MISZLIVETZ F.:** *Ipar 4.0 megoldások kialakításának feltételrendszere* In:Konferencia: A karbantartás új szerepei–értékképzés, kiválóság, biztonság. Veszprém,2016.ápr. <https://www.researchgate.net/publication/301892028> Letöltés 2017. máj. 18.
- [10] **JÓRI J. I.:** *Intelligens mezőgazdasági gépek (1).* In: Agrofórum, 28. évf. 2017(2) pp. 64-70.
- [11] **CHIKÁN A.:** *Vállalatok és funkcióik integrációja.* <http://edok.lib.uni-corvinus.hu> p.68
- [12] **CHIKÁN A., DEMETER K.:** *Az értékteremtő folyamatok menedzsmentje.* Budapest: Aula, 1999. p.599
- [13] **CHIKÁN A.:** *Versenyben a világgal - A Magyar gazdaság versenyképességének mikrogazdasági tényezői* c. kutatási program "Műhelytanulmány" sorozata, Z8. kötet
- [14] **TAKÁCS GY.:** BDF Értékteremtő folyamatok menedzsmentje. H.n. 2007. p.23+esettanulmány <http://www.academia.edu/...>Letöltés: 2017.05.19.
- [15] **DEMETER K. (szerk.):** Termelés-menedzsment I. (R.B. Chase és N.J. Aquilano könyvének felhasználásával) BKE Vállalatgazdaságtan Tanszék:Budapest, 1993. p. 55
- [16] **MAROSÁN GY.:** *Termelés és szolgáltatás-menedzsment.* Budapest: Általános Vállalkozási Főiskola, 2006. p.228.

- [17] **DEMETER K., JENEI I., LOSONCI D.:** *Versenyben a világgal - A lean és a versenyképesség kapcsolata* c. project 54. sz. Műhelytanulmánya p.53
- [18] **VERMES P.:** *A termelés-és karbantartásmenedzsment néhány összefüggése a gépkarbantartás szemszögéből.* In: „Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2011” Konferencia (2011.05.18.) Előadásai (szerk.: Pokorádi L.) Debrecen: Elektronikus Műszaki Füzetek, pp.47-59. www.mfk.unideb.hu/mszb/muszfuz
- [19] **VERMES P.:** *A kockázat kezelése a karbantartási stratégia-választásban.* In: Gépgyártás, GTE: Budapest, 2002. ápr.-máj. p.62-66.
- [20] **SZÜCS S.- VERMES P.:** *A karbantartás kiszervezése – elvek, lehetőségek, megoldások.* In: „Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2012” Konferencia (2012.05.10.) Előadásai (szerk.: Pokorádi L.). Debrecen: Elektronikus Műszaki Füzetek, pp.115-130.
- [21] **KOCZOR Z.(szerk.):** *Minőségirányítási rendszerek fejlesztése. Módszertani segédlet.* TÜV Rheiland Akadémia, 2001.
- [22] **VERMES P.:** *Karbantartás szervezése és ökonómiája. 2. Modul: A karbantartás gazdaságossága.* Szolnok: Szolnoki Főiskola, 2012. p.36
- [23] **GAÁL Z.(szerk.):** *Karbantartási kézikönyv. Módszerek és eszközök a karbantartás irányításában.* Budapest: RAABE Kft. 2002-2007, p. 253
- [24] **JANIK J., VERMES P.:** *Géphasználati idő – optimális módszerek vagy a módszerek optimuma.* In: Északkelet-Magyarország, 2000. 6. sz. pp.36-42.
- [25] **SOMOGYI E.:** *Karbantartási stratégiák.* <http://slideplayer.hu/2220481/...>Letöltés: 2017. 05. 07.
- [26] **MIKSZ:** *Országos Karbantartási Stratégia* <http://miksz.org/orszagoskarbantartasistrategia> Letöltés: 2017. 05. 010.

ERŐMŰI PERNYÉK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA A GEOTECHNIKAI TALAJJAVÍTÁSBAN

INVESTIGATION THE APPLICATION OPPORTUNITIES OF FLYING ASH IN GEOTECHNICAL IMPROVEMENT OF SOIL PROPERTIES

KÁNTOR Tamás¹, ORLICZKI Máté²

¹egyetemi tanársegéd, tamas.kantor@gmail.com

¹Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem

²BSc. hallgató, mate.orliczki@gmail.com

²Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: Az elsődleges nyersanyagok mennyiségének folyamatos csökkenése és azok árának emelkedése arra ösztönzi a szakembereket, hogy a nagy tömegben rendelkezésre álló másodlagos nyersanyagforrásokat kutassák. Másodlagos nyersanyagforrásnak tekinthető anyagok a széntüzelésű erőművekben keletkező pernye és salak. Ezek az anyagok jó fizikai és kémiai tulajdonságoknak köszönhetően alkalmasak cementgyártási, útépitési, és építőipari felhasználásra. Azonban ezen anyagok nagymértékű újrahasznosítása jelenleg egyáltalán nem megoldott, gyakran a tárolásuk is nehézségekbe ütközik. A Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetében végzett kísérleteim során a kvarchomok pernyével történő javítását vizsgáltuk. Vizsgálataink során száraz és vízzel telített állapotban mértük a különböző keverési aránnyal készített minták nyírószilárdságát, szemeloszlását, szivárgási tényezőjét és a fajlagos összennyomódását.

Kulcsszavak: geotechnika, homok, pernye, talajjavítás, laboratórium

Abstract: The continuous decrease of the quantity of the primary raw materials and the elevation of the price persuades the specialists that let the secondary raw material sources standing for taking action in the big mass be researched. Substances considered as a secondary raw material are fly ash and slag from coal-fired power plants. These materials are suitable for use in cement, road construction and building industry thanks to good physical and chemical properties. However, the high level of recycling of these materials is currently not solved at all, and often their storage is also difficult.

During our experiments at the Institute of Environmental Management at the University of Miskolc we examined the correction of the quartz with fly ash. During the course of our work we measured the shear strength, distribution, leakage factor and specific compression of the samples in dry and water-saturated of different sand-fly ash mixtures.

Keywords: geotechnics, sand, fly ash, soil improvement, laboratory

1. BEVEZETÉS

Mára a kedvező altalajú területek beépültek, így leggyakrabban mocsaras, feltöltött, alábányászott, csúszásveszélyes területeken kell építkeznünk. Ebből kifolyólag a talajjavítási, talajerősítési eljárások szerepe egyre inkább megnőtt.

A technikai fejlődés nyomán bekövetkező változások az 1970-es évektől lehetővé tették, hogy a talajviszonyokat arra alkalmas technikával feljavítsuk és a már sokkal jobb talajkörnyezetre tervezzük meg a geotechnikai szerkezeteket. A technológiai fejlődés lehetővé tette az olyan módszerek kialakítását, amelyekkel kedvezőtlen talajok esetében is lehetségesé vált azok beépítése. Ráadásul képesek vagyunk arra is, hogy a meglévő szerkezetek mellett, illetve alatt építkezzünk úgy, hogy azokban semmiféle kár ne keletkezzen.

Manapság a geotechnika fontos része lett a talajjavítás. Céljai között szerepel a mechanikai tulajdonságok, a szilárdság és merevség javítása, a talajtörési állapotok elkerülése és a deformáció csökkentése, valamint a geohidraulikai adottságok, a szivárgási tényező és a

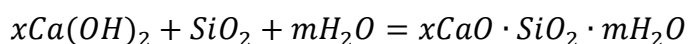
szivárgás peremfeltételeinek módosítása a vízmozgások gyorsítása, szabályozása és megakadályozása. Szemcsés talajok közül a laza homokok és a részben vagy egészben mesterséges feltöltések mechanikai tulajdonságainak javítása és vízzáróságának elérése. Köttött talajok esetében a tözegek, a puha szerves anyagok, természetes vagy mesterséges iszapos üledékek és a kis áteresztőképességű kövér agyagok mechanikai tulajdonságainak javítása és vízvezető képességének növelése.

Dolgozatunkban különböző pernye-homok keverékek geotechnikai vizsgálatait hajtottuk végre. A laboratóriumi eredmények kiértékelésével talajtulajdonság változásokat kívánunk feltárni, amit az adalékanyag okoz a javítani kívánt talajban.

2. VIZSGÁLAT ANYAGOK

Magyarországon igen nagy mennyiségben keletkezik erőműi pernye. A pernye és a kohászati salak közül főként a pernye megfelelő szintű hasznosítása nem megoldott hazánkban. Ennek érdekében folynak kutatások a salak és a pernye minél magasabb fokú hasznosítására. [1] Hazai gyakorlatban a pernye felhasználására az alábbi évtizedekben a cementipari, az útépitési alapanyagként történő hasznosítás, bányauregek tömedékelése és az építőipari felhasználás emelhető ki.

Az erőműi pernye szenek elégetésekor keletkező, az elektrofilterekben, vagy mechanikai porleválasztókban leválasztott puccoláns tulajdonságokkal, illetve puccoláns aktivitással rendelkező porszerű maradékanyag. A pernye finom diszperz általában a cementnél finomabb anyag, melynek szemcseeloszlása függ a szén tulajdonságaitól, őrlési finomságtól és a porleválasztási rendszerek jellemzőitől. A pernyék fontos tulajdonsága a hidraulikus aktivitás. Puccolán reakciónak nevezik a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ és a pernye aktív anyaga közötti reakciót, melynek során megszilárdul [2].



A pernyék hidraulikus aktivitását a fizikai és kémiai jellemzők összessége határozza meg, legfontosabbak: kémiai – és fázisösszetétel, diszperzitásfok, pernye-részecskék morfológiája [2]

A széntüzelésű erőművekben keletkező pernyét az útépités és fenntartás területén több technológiai folyamatban is gazdaságosan fel lehet használni. A hasznosítás történhet közvetlen módon, ebben az esetben a pernyét nem kezelik. Bizonyos esetekben azonban a pernyét fel lehet használni közvetett módon is kötőanyagként, ekkor értékes elsődleges nyersanyagokat lehet vele helyettesíteni. A közvetlen felhasználás elsősorban a következő területeken jöhet számításba:

- töltések és földművek építése durva és közepes szemnagyságú pernyéből
- az aszfaltgyártáshoz a mészkőliszt töltőanyag kiváltása pernyével [3]

A közvetett felhasználás során megfelelő technológiai előkészítés után, vagy pedig aktiváló anyaggal keverve hasznosítják a pernyét. Ennek legfontosabb területei:

- nem hidraulikus savanyú pernyének bázikus katalizátorok hozzáadásával kötőanyagként történő alkalmazása
- savanyú és bázikus pernye keverékével, illetve más kötőanyag hozzákeverésével előállított kötőanyagként való alkalmazása [1]

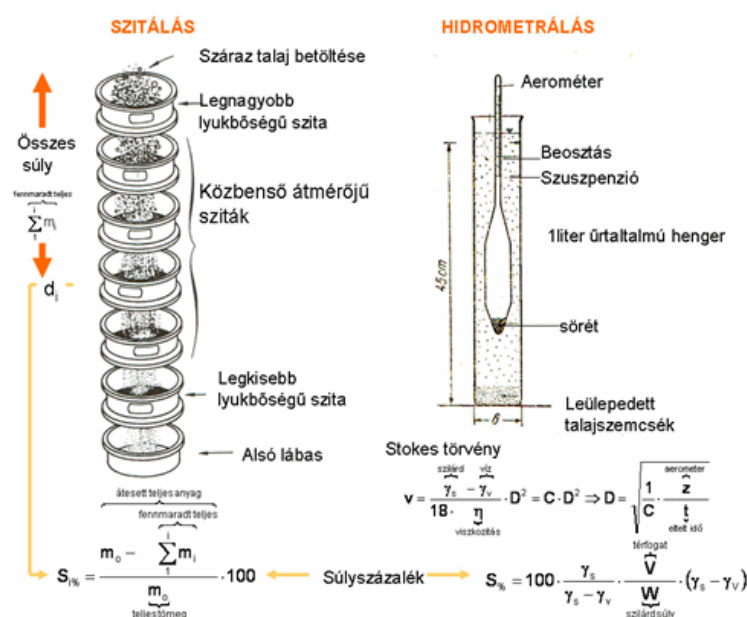
3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK ÉS MÓDSZEREK

Vizsgálatainkat a Miskolci Egyetem, Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában végeztük. A nyersanyagokat és azok keverékeit a geotechnikában általános jellemzésre alkalmazott nyíróvizsgálattal, szemeloszlási görbével, ödométeres vizsgálattal és szivárgási tényező vizsgálattal vizsgáltuk.

3.1 Talajok szemeloszlása

A talaj szemcsék jellemzésére leggyakrabban a méretüket alkalmazzuk. A szemcseméretet a névleges átmérővel adjuk meg. Ez annak a rostának vagy szitának a lyukbőségével azonosítjuk, amelyen a szemcsék még átesik. A kisebb szemcsék névleges átmérőjének, annak a gömbnek az átmérőjét tekintjük, amellyel a szemcse egy folyadékban azonos sebességgel ülepedik [4].

A talajt sokféle méretű szemcse, sőt általában frakció alkotja, ezért a szemcsemérete a szemcsék valószínűségét mutató szemeloszlással jellemezhető. A szemeloszlás meghatározására két módszer lehetséges úgy, mint a szitálás és a hidrometrálás (1. ábra).



1. ábra. Szemeloszlási vizsgálatok [5]

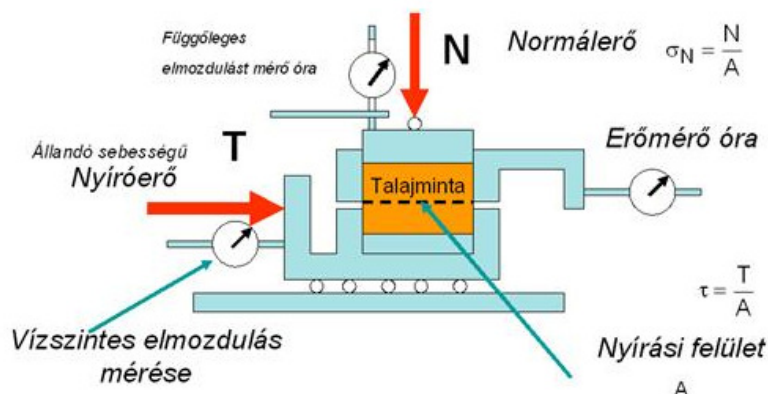
3.2 Talajok nyírószilárdságának meghatározása

A nyírószilárdság eredete szerint a talajok két fő csoportba oszthatók: kohéziós és kohézió nélküli talajokra. Kohéziós talajok szemcséi között belső összetartó erők is működnek, kohézió nélküli talajok nyírási ellenállása pedig csak a szemcsék egymáson való súrlódásából és egymásba kapaszkodásából áll [4].

A nyírószilárdság meghatározása úgy történik, hogy valamilyen berendezéssel létrehozunk a törést okozó feszültségállapotot és ennek ismeretében meghatározzuk a Coulomb-féle egyenest. Dolgozatunkhoz az anyagok nyírószilárdságait, azok szemcsés jellege miatt közvetlen nyírókísérlettel határoztuk meg.

A direkt nyírást egy nyíródoboz nevű készülékkel végezzük (2. ábra). A készülék két egymáson elmozduló keretét talajjal töltjük fel, amelyet nyomólap segítségével függőlegesen

terhelünk. Ezután fokozatosan növeljük a vízszintes terhelést és mérjük a függőleges és vízszintes elmozdulás nagyságát. A kísérletet többször megismételjük különböző függőleges terheléssel.



2. ábra. Közvetlen nyíróberendezés elvi ábrája [5]

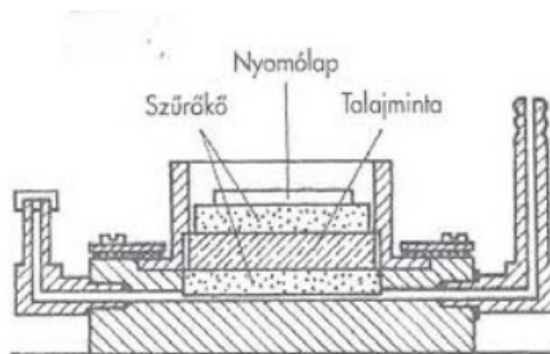
3.3 Ödométeres vizsgálatok

Az önsúly és a külső terhelések hatására fellépő feszültségek alakváltozást hoznak létre a talajban. A talaj egy diszperz rendszer, amely szilárd szemcsékből, vízből és levegőből áll. A szilárd szemcsék általában kemény kőzetek ásványi törmelékei, amelyeket összenyomhatatlannak tekintünk. A szemcsés diszperz közeg összenyomódását a hézagokban lévő víz, illetve a levegő kiszorítása okozza. A terhelés hatására keletkező összenyomódás nagysága és a konszolidáció ideje a talaj minőségétől, nedvességtartalmától és a hézagok mennyiségétől függ [6].

A vizsgálat során fokozatosan növeljük a terhelést (50-100-200-400-800 kPa). Minden terhelési lépcsőnél hosszabb időt kell várni, amíg a semleges feszültségek átalakulnak hatékony feszültséggé. Egy terhelést a minta konszolidációjáig tartunk fenn. Kísérlet közben mérjük a minta függőleges alakváltozását (ΔH) és az alakváltozások időbeli kialakulását és meghatározzuk az ε_z fajlagos alakváltozást, mint talajparamétert.

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta H}{H}$$

A vizsgálati eredményeket feldolgozva kapjuk a kompressziós görbét (6. ábra).



3. ábra. Kompressziós cella [7]

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

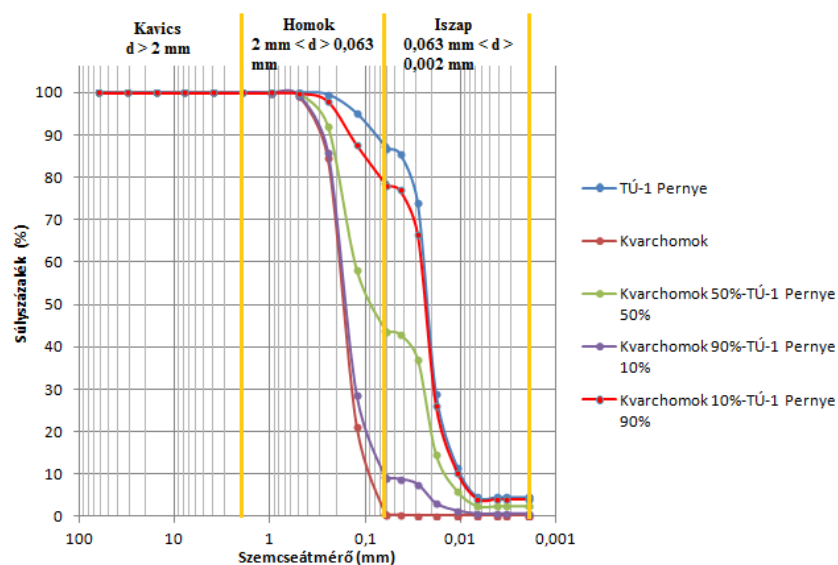
Dolgozatunk tárgyát kvarchomok és pernyeminta (TU-1 pernye) képezte. Ezeket különböző arányokban kevertük össze, így a vizsgálatok során öt féle mintát vizsgáltunk:

- 100% Kvarchomok
- 100% TU-1 Pernes
- 90% Kvarchomok-10% TU-1 Pernes
- 50% Kvarchomok-50% TU-1 Pernes
- 10% Kvarchomok-90% TU-1 Pernes.

A kísérletek során nem csak a keverékek tulajdonságait határoztunk meg, hanem a felhasznált nyers anyagokét külön-külön is, mivel azokról korábbi mérési eredményeink nem álltak rendelkezésre. Dolgozatunk mérési szakaszában azt vizsgáltuk, hogy hogyan tolódnak el az egyes kiinduló anyagok (pernye, kvarchomok) alap geotechnikai jellemzői az adalékanyag hozzáadását követően. Ezekre a fentebbi fejezetekben bemutatott mérési módszereket és eszközöket használtuk.

4.1 Szemeloszlás eloszlások

A szemeloszlási görbéket kétféleképpen határoztuk meg, míg a kvarchomok és a TÚ-1 pernye esetében szitálással, hidrometrálással, addig a keverékek esetében számítással. A szemeloszlás vizsgálat eredményeit a 4. ábrán foglaltuk össze.



4. ábra. Szemeloszlási görbék

Az eredmények alapján látszik, hogy ezen anyagok a homok és iszap frakcióba sorolhatóak, várható viselkedésük ezek alapján jósolható.

4.2 Szivárgási tényező

A szivárgási tényezőt flexibilis falú, állandó nyomású permeabiméterrel végeztük, amely előtt a mintát 200 kPa-os nyomással tömörítettük.

1. Táblázat Szivárgási tényező mérésének eredményei

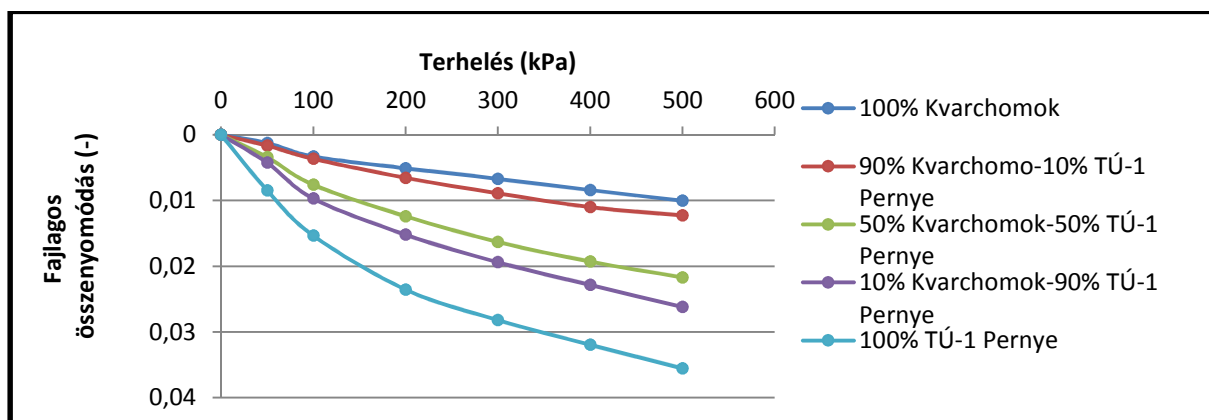
A minta összetétele:	Szivárgási tényező (m/s)
100% Kvarchomok	$9,3 \cdot 10^{-7}$
90% Kvarchomok – 10% TÚ-1 Pernye	$7,0 \cdot 10^{-7}$
50% Kvarchomok – 50% TÚ-1 Pernye	$6,7 \cdot 10^{-8}$
10% Kvarchomok – 90% TÚ-1 Pernye	$2,1 \cdot 10^{-9}$
100% TÚ-1 Pernye	$7,3 \cdot 10^{-10}$

A mérési eredményeink jól mutatják, hogy egy a kvarcból álló talajok szivárgási tényezője több mint 2 nagyságrenddel eltolható pernye hozzáadásával, míg a pernyék vízáteresztése javítható kvarchomok hozzákeverésével.

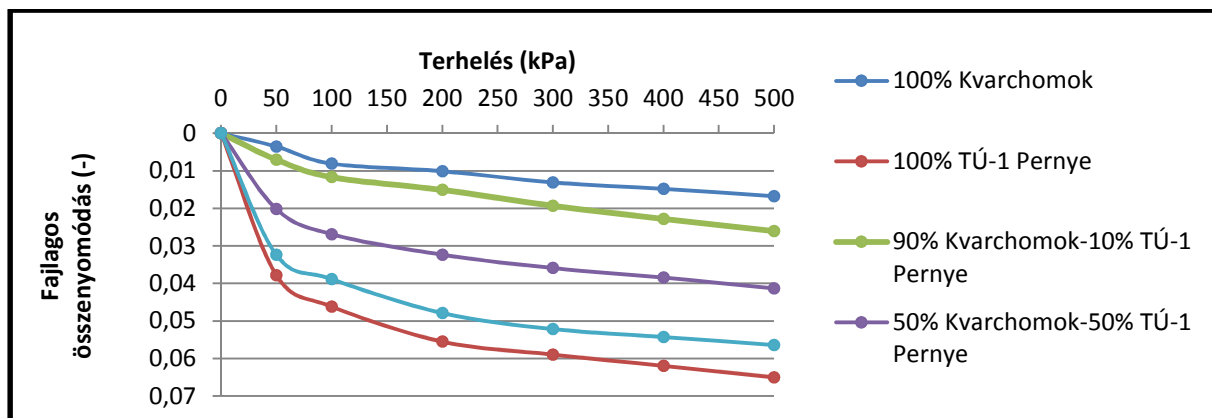
4.3 Ödométeres vizsgálatok

Az ödométeres méréseink eredményeit az egyes anyagok kompressziós görbéivel szemléltethetjük. A kompressziós görbék a terhelés függvényében bekövetkező fajlagos alakváltozásokat mutatják be. Vizsgálatainkat teljesen száraz és teljesen szaturált mintákon is elvégeztük.

Száraz esetben elsősorban a szemcsék egymáson történő elmozdulása, átrendeződése a fő folyamat, míg teljesen szaturált esetben a valódi konszolidáció folyamata zajlik le, amikor is a pórustérben lévő víz kiáramlik a szemcsék közül. Ez a folyamat, szivárgási tényező függő. Kapott eredményeink alapján megállapítható, hogy a pernye hozzáadásának fokozásával az adott talaj tömöríthetősége nő, ami fokozható a rendszer víztartalmának növelésével. Eredményeinket az 5. és 6. ábrán összesítettük.



5. ábra. Száraz minták fajlagos összenyomódása

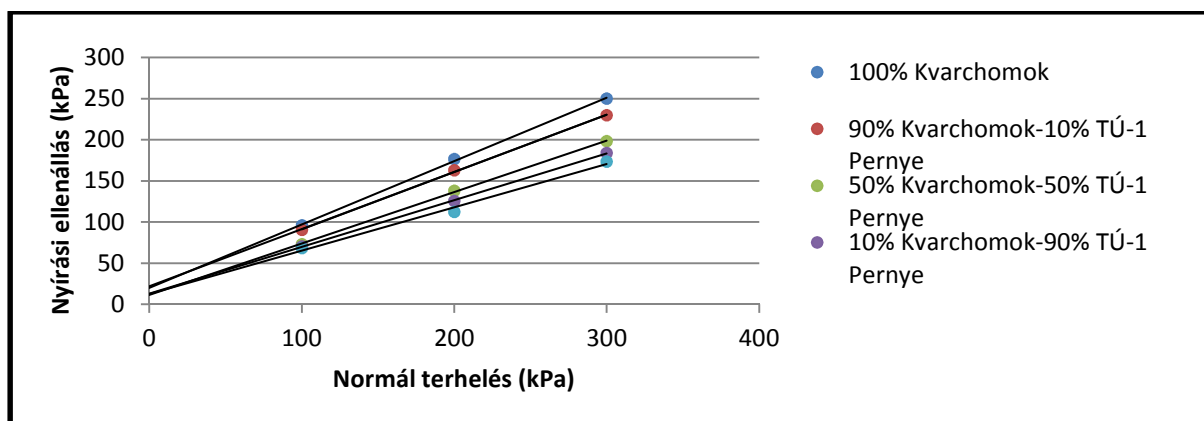


6. ábra. Szaturált minták fajlagos összenyomódása

4.4 Nyírószilárdsági paraméterek

A nyíróvizsgálatainkat is az ödométeres mérésekhez hasonlóan száraz illetve telített mintáinkkal végeztük.

Pernye fokozott adagolásával a száraz minták belső súrlódási szög értékét tudtuk csökkenteni, míg a kohéziós jellemző csak kis mértékben változott. A nyírószilárdsági paraméterek csökkenése a minta teherviselő képességének csökkenését is jelenti. A száraz mintákon végzett kísérleteink eredményeit a 7. ábra és a 2. táblázat foglalja össze.

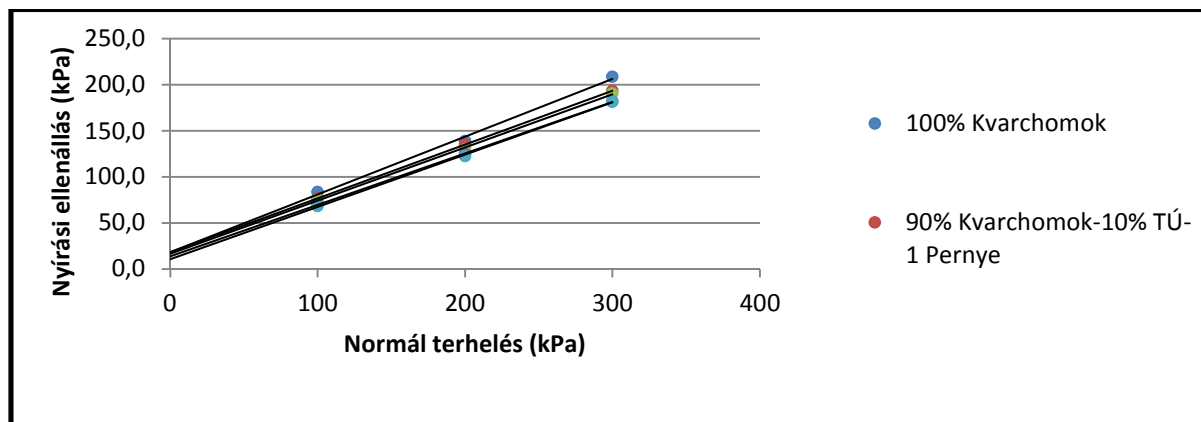


7. ábra: Coulomb – féle tönkremeneteli egyenesek száraz minták esetében

2. Táblázat Száraz minták nyírószilárdsági paraméterei

A minta neve:	Belső súrlódási szög (°)	Kohézió (kPa)
100% Kvarchomok	37,6	20
90% Kvarchomok – 10% TÚ-1 Pernye	34,8	21,8
50% Kvarchomok – 50% TÚ-1 Pernye	32,0	11,2
10% Kvarchomok – 90% TÚ-1 Pernye	29,6	13,0
100% TÚ-1 Pernye	27,7	12,6

A nedves minták esetében sem a Coulomb – féle egyenesekben, sem a belső súrlódási szögekben nincs nagy eltérés. Kisebb változások tapasztalhatóak. Ezek eredményeit a 8. ábra és a 3. táblázat tartalmazzák.



8. Ábra: Coulomb – féle tönkremeneteli egyenesek nedves állapotban

3. Táblázat Telített minták nyírószilárdsági paraméterei

A minta neve:	Belső súrlódási szög (°)	Kohézió (kPa)
100% Kvarchomok	32,1	18,5
90% Kvarchomok – 10% TÚ-1 Pernye	30,3	18,3
50% Kvarchomok – 50% TÚ-1 Pernye	30,0	16,4
10% Kvarchomok – 90% TÚ-1 Pernye	29,2	14,0
100% TÚ-1 Pernye	29,6	10,6

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ANGYAL ZS.:** *Erőművi salakhányók környezetre gyakorolt hatásainak és hasznosításuk lehetőségeinek vizsgálata egy salgótarjáni mintaterület példáján*, Doktori (PhD) értekezés, ELTE TKK Környezettudományi Centrum, Budapest, 2009.
- [2] **OPOCZKY L.:** *A pernyék szilikátkémiai tulajdonságai*, Környezetvédelem eljárástechnika, A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 55. kötet, 2001.
- [3] **GÁSPÁR L.:** *A hőerőművek pernyéinek és zagytéri anyagainak útéptési hasznosítása*, Mélyépítés tudományi Szemle, 5. pp. 18-23., 1977.
- [4] **FAUR K. B., SZABÓ I.:** *Geotechnika, Egyetemi Jegyzet*, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 2011.
- [5] **MECSI J.:** *Alapozás, főiskolai jegyzet*, CD, 2009.
- [6] **TIRPÁK A.:** *A talajokban keletkező feszültségek, alakváltozások és a talajsüllyedés*, NSZFI, Budapest, 27. o., 2009.
- [7] **KÁDÁR J.:** *Talajmechanikai- alapozás*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 50. o., 1998.

A NYÍREGYHÁZI EGYETEM KUTATÁSI ÉS FEJLESZTÉSI TERÜLETEI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MŰSZAKI TUDOMÁNYOKRA

RESEARCH AND DEVELOPMENT FIELDS OF THE UNIVERSITY OF NYÍREGYHÁZA, WITH SPECIAL REGARD TO THE TECHNICAL SCIENCES

KEREKES Benedek

egyetemi tanár, kerek.benedek@nye.hu
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

Kivonat: A Nyíregyházi Egyetem az intézményfejlesztési tervével összhangban alap- és alkalmazott kutatásokat végez a műszaki, informatikai és közlekedéstudományok, az agrár- és élelmiszertudományok, az anyagtudományok, a természettudományok, valamint a humán- és társadalomtudományok területén. K+F+I tevékenységét a hazai és nemzetközi partnerekkel folytatott (hálózatos) együttműködések, az alkalmazott kutatások és kutatás-fejlesztések jellemzik. A Nyíregyházi Egyetem kutatási súlypontját a Felső-Tisza-vidék (Nyírség, Szatmár–Beregi-síkság) élő rendszereinek fenntartható fejlesztése alkotja, melybe beletartozik a populáció-, vízi-, és mikrobiális ökológia, az ökológiai gazdálkodás technológiája, a tájjellegű növénytermesztés és az élelmiszer-feldolgozás kutatása. Az intézmény főbb kutatóműhelyei: agrártudományi, agrár-műszaki, környezettudományi, műszaki, informatikai, humántudományi (társadalom- és kultúratudományok, művészetek) és pedagógiai kutatócsoportok.

Kulcsszavak: intézményfejlesztési terv, alap- és alkalmazott kutatások, K+F+I szolgáltatások, tudományos műhelyek

Abstract: The University of Nyíregyháza carries out the research tasks of engineering, information technology and transportation engineering, agriculture and food sciences, material sciences, natural sciences, moreover the humanities and social sciences, basic and applied research in line with the institution's development plan. The R & D & I activities are characterized by networking cooperation with the domestic and international partners, in the field of research, applied research and development activity. The research priority of the Nyíregyháza University is the sustainable development of the living systems of the Upper Tisza region (Nyírség, Szatmár-Bereg plain), that includes the populations, water and microbial ecology, organic farming technology, provincial crops and food processing research. The main research workshops of The institution are: agricultural and environmental sciences, engineering, informatics, human and pedagogical sciences.

Keywords: institutional development plan, basic and applied research, R & D & I services, scientific workshops

1. A NYÍREGYHÁZI EGYETEM STRATÉGIÁJA (JÖVŐKÉP)

Az intézmény specifikus oktatási és kutatási portfólióval rendelkező felsőfokú képző hely, amelynek küldetése elsősorban az egyetemi szintű képzés, tudományos kutatás, valamint a tudáshasznosítás: a gyakorlati képzési és kutatási szolgáltatásaival (alapképzés, alapképzés duális formában, mesterképzés, gyakorlatorientált kutatások, ipar közeli fejlesztések) elsősorban gazdasági-társadalmi igényeket elégít ki.

A Nyíregyházi Egyetem az alkalmazott tudományok egyetemeként képzési, kutatási, társadalmi feladatait az Észak-alföldi régióban látja el, nemzetközi kapcsolataiban kiemelt figyelemmel a kárpátaljai térségben. Képzési területét főként a teljes vertikumú pedagógusképzés és a duális képzési formával kiegészülő mérnökképzés, informatikai és gazdasági szakemberképzés alkotja. Kutatási irányait az alkalmazott kutatásai határozzák meg az informatikai, a műszaki, a pedagógusképzési, a természet- és társadalomtudományi területeken. Az egyetem fő kutatási súlypontját a térség ökológiai rendszereinek a multidiszciplináris kutatása alkotja.

Az intézményünk az alkalmazott tudományok egyetemeként a magyarországi felsőoktatási rendszer önálló képzési, kutatási és társadalmi feladatokkal rendelkező részegysége. Partneri együttműködésben és feladatmegosztásban érdekelt a regionális erőforrások egyesítése révén, a nemzetközi versenyben való helytállás érdekében a régió kutatóegyetemével, a Debreceni Egyetemmel.

1.1. A Nyíregyházi Egyetem a társadalmi mobilitás és a gazdasági innováció regionális központja

Jelentős térségközpont-szerep betöltése, megőrzése és továbbfejlesztése az intézmény küldetésének megfelelő jelenléttel, határozott intézményi szereptudattal, világos profillal, megfelelő finanszírozással. Az intézmény alapvető tevékenységét az alkalmazás során nyújtott hasznossága igazolja.

1.2. A Nyíregyházi Egyetem a képzési portfólióját a térség igényeihez igazodva fejleszti.

Az állam által elvárt és meghatározott képzési feladatok egyetemi szintű ellátása. A regionális gazdasági-társadalmi igényeket kielégítő, munkaerő-piaci elvárásokhoz igazodó képzési feladatok vállalása. A régió köznevelési igényeihez igazodó, gyakorlatorientált pedagógusképzés. Elismert elméleti és gyakorlati képzési-továbbképzési modell kialakítása.

1.3. A Nyíregyházi Egyetem tudományos munkájában az alapfeladatának tekintett alkalmazott kutatások mellett alapkutatásokat és kísérleti fejlesztéseket folytat.

Alap- és alkalmazott kutatásokat végez a műszaki, informatikai és közlekedéstudományok, az agrár- és élelmiszertudományok, az anyagtudományok, a természettudományok, valamint a humán- és társadalomtudományok területén.

K+F+I tevékenységét a hazai és nemzetközi partnerekkel folytatott (hálózatos) együttműködések, az alkalmazott kutatások és kutatás-fejlesztések jellemzik.

A gazdasági szféra szereplőit támogatva együttműködik a hazai, technológia-intenzív vállalatokkal (elsősorban kkv-k) innovációs szerepük felépítésében, fejlesztésében. Kutatási szolgáltatásokat nyújt (K+F+I) elsősorban az informatikai, mezőgazdasági, élelmiszeripari, logisztikai vállalkozások és a gépjárműgyártás számára a termékfeldolgozás, az anyagtudomány és gyártástechnológia, továbbá a környezettechnika és a minőségmenedzsment területén.

Az egyes kutatóműhelyek intézményi szintű koordináció mellett, a multidiszciplináris műhely keretei között bekapcsolódnak a hazai- és a nemzetközi kutatásokba, alapul szolgálva, előkészítve az egyetem doktori iskoláját.

Főbb kutatóműhelyei: környezettudományi, pedagógiai, informatikai, agrár-műszaki, humántudományi (társadalom- és kultúratudományok, művészetek), Kelet- és Közép-Európai Kutató Központ, Agrár és Molekuláris Kutató és Szolgáltató Intézet.

1.4. A Nyíregyházi Egyetem biztosítja az oktatói-kutatói-hallgatói kiválóság fejlesztését.

A Nyíregyházi Egyetem humánerőforrásait az intézményfejlesztési tervben megfogalmazott képzési és kutatási prioritásokhoz igazítva fejleszti.

Kiemelten támogatja az intézményi szintű, alap- és alkalmazott kutatást folytató tudományos műhelyek tapasztalt és junior kutatóit, a kutatásokba bevont hallgatókat.

Célirányosan szorgalmazza és támogatja a minősítési eljárásokat (habilitáció, MTA doktora), valamint a fokozatszerzést (PhD/DLA).

Elősegíti az alap- és alkalmazott kutatási területeken folyó tudományos kutatás eredményeinek megjelentetését a referált nemzetközi és hazai tudományos szakmai lapokban, kiadóknál, valamint nemzetközi és hazai szakmai tanácskozásokon.

1.5. A Nyíregyházi Egyetem biztosítja az esélyteremtő tudást és tehetséggondozást.

Intézményi szinten erősíti meg a tudományos diákköröket és szakkollégiumokat. (Lónyay Menyhért Tehetséggondozó Szakkollégium, Roma Tehetséggondozó Műhely, TDK). Differenciáltan ismeri el a tehetséggondozásban közreműködő eredményes oktatóit, kutatóit, illetve hallgatóit.

1.6. A társadalmi innováció érdekében a Nyíregyházi Egyetem erősíti és fejleszt a szolgáltató szerepét.

A Nyíregyházi Egyetem a társadalmi innováció egyik meghatározó bázisa, elsősorban a tudománynépszerűsítés, ismeretterjesztés, tehetséggondozás, tanulást és kutatást elősegítő programok, együttműködések és szolgáltatások révén. Az intézményi közösségi, kulturális és sport infrastruktúrájának szabad kapacitásaival bekapcsolódik a helyi kulturális, turisztikai, kreatív, rekreációs és egészségfejlesztő városi, illetve térségi fejlesztésekbe, programokba. A társadalmi innováció részeként a helyi gazdaságfejlesztésre gyakorolt hatás az előző stratégiai prioritások közt érvényesül széles körben.

2. AZ INTÉZMÉNY KIEMELT K+F+I AKCIÓTERVEI 2016-2020 KÖZÖTT

Az egyik kutatási súlypont a Felső-Tisza-vidék élő rendszereinek fenntartható fejlesztése (integrált, multidiszciplináris humán/ökológiai kutatások): populáció-, viselkedés-, vízi- és mikrobiológiai ökológia; az ökológiai gazdálkodás technológiája; tájjellegű növénytermesztés; élelmiszerkutatás; az internet, mint gyors ismeretközvetítő alkalmazási lehetőségei (intelligens település); térségi pedagógia és közoktatás. Az egyetem másik kutatási súlypontja a régió gazdaságfejlesztésének elősegítése speciális műszaki jellegű K+F+I tevékenységgel (ipari technológiák, agrárműszaki kutatások, automatizálás, műszaki logisztikai fejlesztések).

2.1. Környezettudományi kutatások

- Molekuláris ökológiai biológia műhely fejlesztése.
- Populáció-ökológiai és viselkedés-ökológiai alap- és alkalmazott kutatások.
- Az éghajlat- és élőhely-változás biológiai sokszínűségekre gyakorolt hatásának követését támogató kutatások.
- Vízi ökológiai alap- és alkalmazott kutatások.
- Környezet-analitikai alkalmazott kutatások.
- Mikrobiológiára alapozott ökológiai alap- és alkalmazott kutatások.
- Humánbiológiai/történeti antropológiai alap- és alkalmazott kutatások.

2.2. Informatikai és matematikai kísérleti fejlesztések

- Az internet kiterjedt alkalmazása:
 - adatrögzítés, adatkommunikáció, adatelemzés,
 - energetikai, vízgazdálkodási és közlekedési alkalmazások,
 - a technológia alkalmazása a felsőoktatásban.
- Robotika:
 - alkalmazások a számítógép- és járműgyártásban,
 - mesterséges intelligencia, robotintelligencia kutatások.
- Mobil alkalmazásfejlesztés:
 - szoftverfejlesztések, a kapcsolódó nyelvek kutatása és oktatása,
 - a mobil eszközök, mint szenzorok, adatgyűjtők, adatelemzők, megjelenítők.

2.3. Agrárműszaki kutatásfejlesztések

- Fenntartható gépesítési megoldások alkalmazása a mezőgazdaságban:
- alacsony fajlagos energiaigényű erőgép üzemeltetési lehetőségek kutatása,
- korszerű hajtóanyagok és a belsőégésű motorok vizsgálata,
- környezetkímélő vegyszer-kijuttatás egyes alkalmazástechnikai megoldási lehetőségeinek feltárása és elterjesztése.
- A kenőanyag felhasználás csökkentési lehetőségeinek vizsgálata a mezőgazdasági gépek motorjainak üzemeltetésekor.
- Az amaránt termesztés és felhasználás technológiájának gépesítése.
- Mezőgazdasági és élelmiszeripari terményszárítók műszaki fejlesztése.
- Térségi energetikai központ kialakítása és „K+F+I” tevékenysége.
(Energiagazdálkodási audit, megújuló energiák alkalmazási lehetőségei).
- Mezőgazdasági melléktermékekből és energia ültetvényekből származó biomassa alapanyagok hasznosítása (technológia és gépesítés).
- Az ökológiai gazdálkodás technológiai - műszaki fejlesztése.

Járműszerkezetek és mezőgazdasági gépek (műszaki fejlesztési lehetőségek)

Célkitűzések:

- A jármű-szerkezetek elemek funkcionális és üzemi körülmények közötti vizsgálata.
- A dízelmotorok működési jellemzőinek vizsgálata különböző hajtóanyagok felhasználásával.
- Traktorok hajtási fokozatainak kapcsolás alatti energetikai elemzése.
- Terepen mozgó járművek műszaki vizsgálata.
- Növényvédelmi gépek munkaminőségének vizsgálata.
- Az amaránt termesztés és felhasználás technológiájának gépesítése.

Eredmények:

- A biohajtóanyagok alkalmazása megváltoztatja a motorok beállítási paramétereit.
- A mezőgazdasági traktorok hajtásánál az egyes fokozatok kapcsolási energia-vesztéseinek mérése alapján a kapcsolási idő nagysága jelentősen befolyásolja a veszteségeket (SZEGEDI, 2015).

Közös K+F” téma a MOL ZRt céggel:

- Gázolaj – LPG összetételű hajtóanyag alkalmazásának vizsgálata a „Common-rail” rendszerű dízelmotorok üzemében.
- Hajtóanyag fogyasztás vizsgálatok.

Mezőgazdasági termények szárításának kutatása

Célkitűzések:

- A kutató munka a régióban termesztett zöldségek és gyümölcsök szárítással való tartósításának fejlesztését célozta meg.
- Fő feladatunk volt a hagyományos (konvekciós) szárítás és a fagyasztva szárítás összehasonlító vizsgálata (szárítási idő, energiafelhasználás, beltartalom, visszanedvesíthetőség, stb.).

Eredmények:

- Bebizonyosodott, hogy a fagyasztva szárítás a végtermék minősége szempontjából sokkal kedvezőbb, mint a konzervatív víztávolítás [1].

Az energiafelhasználás és a szárítási idő csökkenthető

technológiai módosítással, pl. a kombinált (konvekciós és fagyasztva szárítási eljárással [2].

Mezőgazdasági (agrártudományi) kutatásfejlesztések (technológia és műszaki fejlesztés)

- Magas biológiai értékű tápanyagokat tartalmazó tájjellegű zöldségfélék (torma, káposzta) termesztés-technológiájának fejlesztését támogató alkalmazott kutatások.
- Ökológiai és tájtermesztési kutatások a Szabolcs-Szatmár-beregi térség tradicionális növényi kultúrái vonatkozásában.
- Egyes energianövények (pl.: fűz, akác, olasz nád) termesztés-technológiájának fejlesztését megalapozó kutatások különösen a talajszennyező anyagok talajból történő eltávolítására.

- A precíziós mezőgazdálkodásnak a természeti erőforrások minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata.
- A GMO alkalmazása nélküli termesztés ellenőrzési technológiai módszereinek kutatása és fejlesztése.
- Kiemelkedő biológiai értékű alternatív, szárazságtűrő növények (pl. amaránt) termesztéstechnológiájának fejlesztésével kapcsolatos kutatások.

Élelmiszeripari kutatásfejlesztések (technológia és műszaki fejlesztés)

- Tájjellegű szántóföldi és zöldségnövények belső (biológiai) paramétereinek vizsgálata a fajta, és a tápanyag-visszapótlás az évjáratra jellemző környezeti körülmények függvényében.
- A Szabolcs-Szatmár-beregi térség magas biológiai értékű növényi kultúráira alapozott egészséget megőrző élelmiszerek fejlesztésével kapcsolatos „K+F+I” tevékenységek.
- Mezőgazdasági termények, zöldségfélék és gyümölcsök magas tápértéket megőrző korszerű szárítási eljárásainak kutatása, technológiai fejlesztése.
- Az élelmiszer-feldolgozás technológiai és műszaki feltételrendszerének fejlesztése.
- Mezőgazdasági és termék-feldolgozási eredetű hulladékok és melléktermékek teljes körű visszaforgatását célzó technológiai láncok, ciklusok kifejlesztése.

2.4. Műszaki tudományi kutatásfejlesztések

- Fenntartható ipari technológiák (környezetbarát megmunkálási eljárások vizsgálata és fejlesztése).
- Forgácsolási folyamatok vizsgálata kísérleti úton és modellezéssel.
- Csavar- és menetfelületek modellezése és gyártása.
- Modern ipari alapanyagok kutatása és fejlesztése.
- Innovatív ipari automatizálási és folyamatszabályozási rendszerek kidolgozása.
- A szenzortechnika alkalmazási lehetőségeinek feltárása az intelligens alkalmazások területén.
- Műszaki logisztikai K+F+I feladatok megoldása a régióban.

Környezetbarát megmunkálási technológiák kutatása

Célkitűzés:

- A forgácsolás technológiai paraméterei forgácsolási folyamatra gyakorolt hatásának vizsgálata szürkeöntvény külső minimál-kenéssel történő furatmegmunkálásnál.

Eredmények:

- Környezetbarát furat-megmunkálási technológiák paramétereinek optimalizálása.
- A gyakorlatban használható összefüggések a forgácsolási paramétereknek a fúrás előtoló erő és nyomaték szükségletére, továbbá a szerszám-kopásra gyakorolt hatásának meghatározására.

A forgácsleválasztás szimulációja

Célkitűzés:

- A minimálkenés és szárazmegmunkálás kutatása során a forgács leválasztás fizikai modellezése.

Eredmények:

- Háromdimenziós végeselem modell megalkotása a forgácsolás szimulációjára, amely tartalmazza az anyagi tulajdonságok hőmérséklet-függését, a folyáshatár változását nagy alakváltozások és alakváltozási sebességek esetén.
- A modellszámításokból kapott eredmények jó kvantitatív egyezést mutatnak a kísérletek során nyert mérési eredményekkel.
- A kutatók kimutatták a jellegzetes hőmérsékleti maximumot a szerszám homlokfelületén, továbbá a megmaradó feszültségeket, a szerszámkopás jellegzetes helyeit.

Csavar- és menetfelületek kutatása

Célkitűzések:

- A menetfelületek elméleti vizsgálata, fizikai modellezése, gyártása, bevizsgálása és elemzése.
- Az újabb célkitűzések között szerepel az aszimmetrikus fogazatú fogaskerék hajtások és a belső csigahajtások fejlesztése.

Eredmények:

- A kutatások során kidolgozták és elemezték a vizsgált menetfelületek (fogaskerék és csiga hajtópárok) matematikai modelljét, gyártásgeometriáját.
- A csigahajtások feszültségállapotát fizikai modellezéssel vizsgálták. A csigahajtások elemeit többféle technológiával gyártották, ellenőrizték azok méret- és alakhelyességét, továbbá beazonosították a hordképét.

Additív gyártási technológiák fejlesztése

Célkitűzés:

- A kutatások célja az OBJET EDEN 350V típusú berendezés (3D nyomtató) gyártási pontosságának, a gyártott termékek felületminőségének és alakhelyességének vizsgálata volt.

Eredmények:

- Kimutatták, hogy az OBJET EDEN 350V típusú additív gyártó berendezés képes a gyártó által megadott pontossággal előállítani a terméket, ugyanakkor a gyártási folyamat anizotrópiája tükröződik a különböző térbeli irányokban mérhető méret- és alakhibák eloszlásában, valamint a felületminőség eltéréseiben is.
- Ezek az eredmények a gyakorlatban úgy hasznosíthatók, hogy segítségükkel meghatározható az optimális gyártási orientáció egy adott termék esetén.

PROFINET valós idejű ipari kommunikációs rendszer fejlesztése

Célkitűzés:

- A valós idejű ipari Ethernet rendszerek kritikus időmeghatározási módszereinek, biztonságos adatátviteli lehetőségeinek és korlátainak kidolgozása.

Eredmények:

- IO controller vezérlési program ciklusidejének meghatározása.
- Nem szinkronizált valós idejű PROFINET IO rendszer reakcióidejének meghatározási módszerei és mérési lehetőségei.
- PROFINET IRT rendszer busz frissítési idejének meghatározása.
- A bitsebesség növelésének hatásai és korlátai.

2.5. Kutatási és fejlesztési szolgáltatások

A „K+F+I” szolgáltatások elsősorban az informatikai, mezőgazdasági, élelmiszeripari, logisztikai vállalkozások és a gépjárműgyártás számára a termékfeldolgozás, az anyagtudomány és gyártástechnológia, továbbá a környezettechnika és a minőségmenedzsment területén.

A Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézetében jelenleg az alábbi „K+F” szolgáltatások érhetőek el:

- Növényvédő gépek időszakos műszaki felülvizsgálata

Az akkreditált Anyagvizsgáló Laboratóriumban megrendelhető szolgáltatások:

- Fémek és fémtermékek, valamint hegesztett kötések laboratóriumi és helyszíni vizsgálata
- Környezeti zaj- és rezgésvizsgálatok

ÖSSZEFOGLALÁS

A Nyíregyházi Egyetem az intézményfejlesztési tervével összhangban alap- és alkalmazott kutatásokat végez a műszaki, informatikai és közlekedéstudományok, az agrár- és élelmiszertudományok, az anyagtudományok, a természettudományok, valamint a humán- és társadalomtudományok területén. K+F+I tevékenységét a hazai és nemzetközi partnerekkel folytatott (hálózatos) együttműködések, az alkalmazott kutatások és kutatás-fejlesztések jellemzik.

A Nyíregyházi Egyetem kutatási súlypontját a Felső-Tisza-vidék (Nyírség, Szatmár–Beregsíkság) élő rendszereinek fenntartható fejlesztése alkotja, jellemzően multidiszciplináris szempontból, amelybe beletartozik a populáció-, vízi-, és mikrobiológiai ökológia, az ökológiai gazdálkodás technológiája, a tájjellegű növénytermesztés és az élelmiszerek tartósítási és feldolgozási lehetőségeinek fejlesztése.

Az intézmény főbb kutatóműhelyei: agrártudományi, agrár-műszaki, környezettudományi, műszaki, informatikai, humántudományi (társadalom- és kultúratudományok, művészetek) és pedagógiai kutatócsoportok.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ANTAL, T.:** *Comparative study of three drying methods: freeze, hot air-assisted freeze and infrared-assisted freeze modes.* Agronomy Research, 2015., Vol. 13., No 4., 863-878. p. ISSN 1406-894X
- [2] **ANTAL, T.:** *Drying characteristics and quality of pear under hybrid drying (mid-infrared-freeze drying).* Hungarian Agricultural Engineering, 31/2017, 1-17. p. ISSN 0864-7410

A FŰTÉSI ENERGIAFOGYASZTÁS ÉRZÉKENYSÉGE AZ ÉGHAJLATI TÉNYEZŐKRE

THE SENSITIVITY OF HEATING ENERGY CONSUMPTION ON CLIMATE FACTORS

KEREKES Attila

tanszéki mérnök, kerekesa@eng.unideb.hu

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: A tervezési gyakorlat azzal a feltételezéssel él, hogy a fűtési energiafogyasztás arányos a fokszámmal, más néven a hőfokhíddal. Tény, hogy ez igaz az épületből a környezetbe távozó energiára, azonban ennek három forrás a fedezete: a fűtési rendszer, az épület szoláris nyeresége és a rendeltetésszerű használatból (háztartás) származó hő. A fűtési energiafogyasztás azonban függ a külső hőmérséklet és a globálisugárzás időbeli lefutásától is. Három jellemző földrajzi hely éghajlati adatainak elemzése alapján bemutatásra kerül a pontosabb jellemzés céljából kifejlesztett, időben és a tájolás szerint differenciált „climate severity index” és az időbeli változás jellegét mutató viszonyszámok.

Kulcsszavak: fűtési energiaigény, fokszám, sugárzási nyereség, éghajlati jellemzők, egyszerűsített „climate severity index”

Abstract: Design practice assumes that the heating energy consumption is proportional to the degree day. In fact, this is true for the energy flowing from the building to the environment, but it is covered by three sources: the heating system, the solar gain of the building and the heat from the internal heat load (household). However the heating energy consumption also depends on the change of the outside temperature and the global radiation, in time. Based on the analysis of the climatic data of three typical geographic locations, the "climate severity index" is presented for differentiated times and orientations, and the ratio showing the characteristic of changings in time.

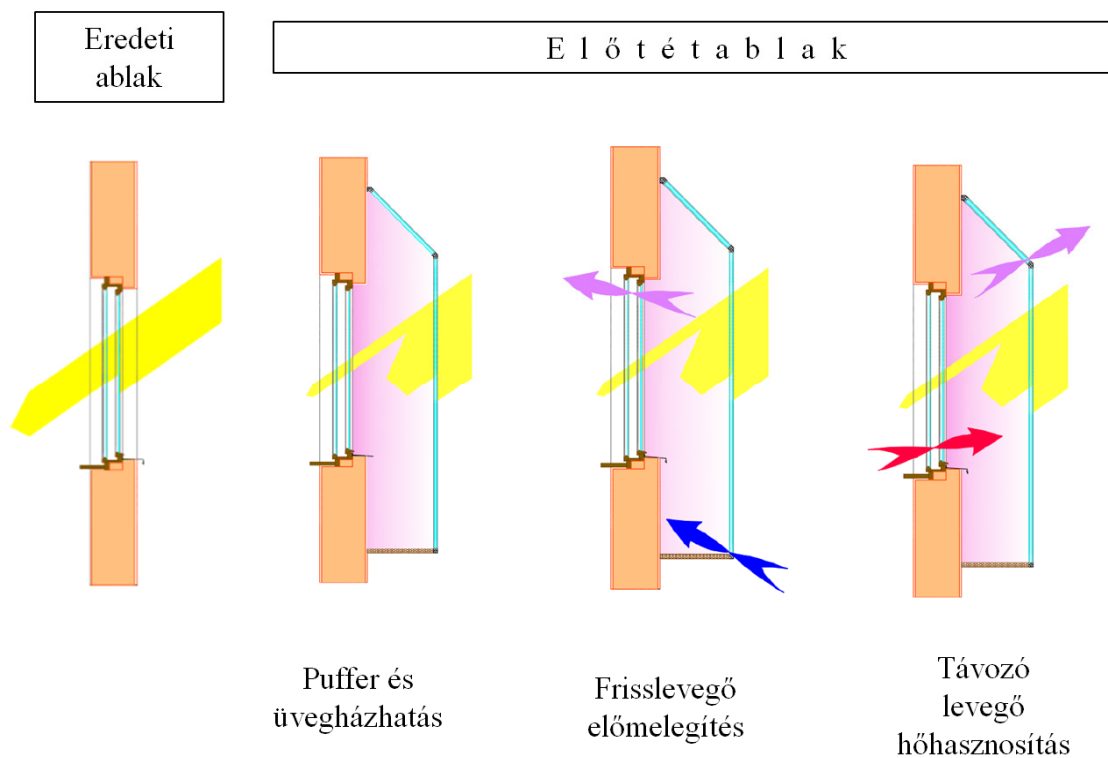
Keywords: heating energy need, degree day, solar gain, climatic characteristic, simplified climate severity index

1. BEVEZETÉS

A klímaváltozás és a globális felmelegedés felgyorsulásában jelentős szerepet játszik az emberi tevékenységből származó, növekvő CO₂ kibocsátás, amely szoros kapcsolatban van a fosszilis energiahordozók felhasználásával. A CO₂ kibocsátás csökkentésének elengedhetetlen feltétele a fosszilis energiahordozók felhasználásának csökkentése. Magyarországon, mint az Európai Unióban is a primerenergia felhasználás közel 40%-át az épületek energiafelhasználása jelenti, amelynek legnagyobb része – több mint 70%-a – a fűtési rendszerek energiafelhasználása.

Az épületek fűtési energiafelhasználásának csökkentésére az egyik lehetőséget az előtétablak – „addicionált konvex ablak” – kínálja (1. ábra). Ennek lényege a külső falsík előtt elhelyezett, üvegezett szerkezet, amely takarja az eredeti ablakot és az a körüli falsíkot. Alkalmazása az épületszerkezetek élettartamával megegyező élettartamú megoldást jelent, amely csökkenti az épület fűtési energiaigényét, mérsékli az épület nyári túlmelegedésének kockázatát. Meglévő épület felújításánál alkalmazva az eredeti ablakot megtartva a bontási hulladék elhelyezésének, ártalmatlanításának, újrahasznosításának problémáitól mentes megoldást nyújt. Felszerelése kis mértékben zavarja a lakók nyugalmát. Alkalmazása esetén mód van arra, hogy a levegő az előtét zónán kerüljön átvezetésre. A nyomásviszonyoktól függően kétféle áramút lehetséges: kívülről befelé vagy belülről kifelé. Beáramlás esetén a szellőző levegő előmelegsik – természetesen a konvektív hőfelvétel miatt az előtétzóna

hőmérséklete csökken. Kiáramlás esetén a szobából távozó levegő hőt ad le az előtétzónában, az előtétzóna hőmérséklete nő, a távozó levegő hőtartalmának egy része visszanyerhető. [1] [2] [3] [4].



1. ábra. Az előtétablak és üzemmódjai

2. MÓDSZERTAN

Az előtétablak részletes szimulációs vizsgálata az Energy Plus v.8.4.0 programban felépített modellen történt a következő három európai helyszínrre: Debrecen, Leuchars, Bergen. Az egyes helyszínek Köppen féle leíró illetve az ASHRAE specifikus éghajlati osztályait az 1. táblázat mutatja.

1. Táblázat. Az egyes helyszínek éghajlati osztályai (forrás: a szimulációkhoz használt IWEK állomány - Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook)

Helyszín	Köppen éghajlati osztály	ASHRAE éghajlati osztály
Debrecen {É 47 ° 28 ' } {K 21 ° 37'}	Dfb	5A
Leuchars {É 56 ° 22 ' } {Ny 2 ° 52'}	Cfb	5C
Bergen {É 60 ° 17 ' } {K 5 ° 13'}	Cfb	5C

A vizsgált épületváltozatok: hagyományos falazott falszerkezet, abban kapcsolt gerébtokos ablakkal, előtétablak nélkül (mint kiinduló állapot), és ugyanez a szerkezet kétrétegű üvegezésű előtétablakkal. Az előtétablakos változatnál a puffer és üvegházhatás valamint a szellőzéses üzemmódok kerültek vizsgálatra. A szimulációk lefuttatása három tájolásra (Dél, Észak és Kelet) és 4-35% homlokzati üvegezési arány tartományban történt.

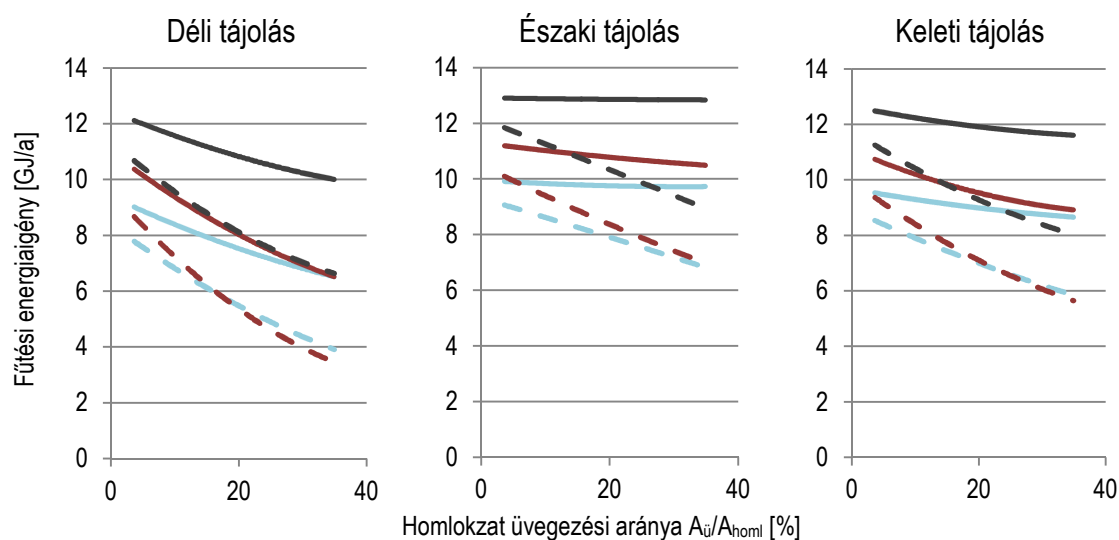
3. EREDMÉNYEK

A fűtési energiaigényre kapott eredmények a 2. és 3. ábrákon láthatók. A fűtési energiaigény az eredeti állapotra a nagyobb északi szélesség mentén fekvő helyszínnél nagyobbra adódott. Az üvegezési arány növelésével a fűtési energiaigény csökken, kivéve az északi tájolást, ahol nem változik számottevően.

Az előtét ablak alkalmazásával a fűtési energiaigények a homlokzati üvegezési arány növekedésével meredeken csökkennek minden vizsgált tájolás esetén, ugyanakkor a Debrecen és Leuchars közötti különbség elenyészővé válik, a legmagasabb fűtési energiaigény Bergenben adódott.

A levegő előmelegítés és a távozó levegő hőhasznosítás üzemmódok a helyszínek fűtési energiaigény szerinti sorrendjében, a tájolás és a homlokzati üvegezési arány tekintetében a puffer és üvegházhatással azonos tendenciákat mutatnak.

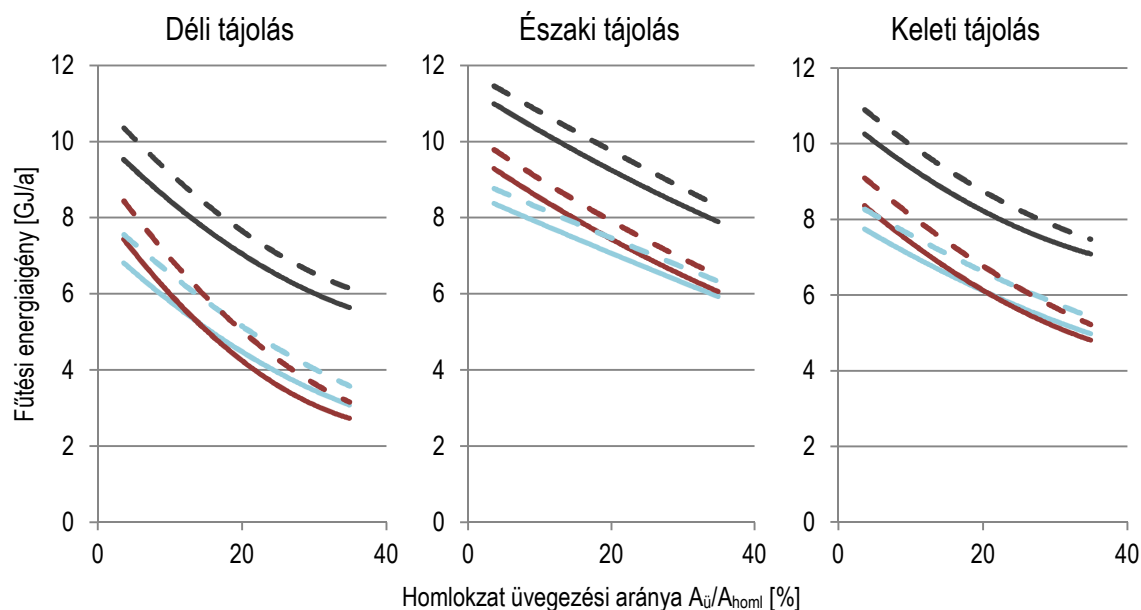
Ami a különbségeket illeti, látható, hogy Bergen mindig kimagaslóan a legnagyobb fűtési energiaigényt produkálja, a Debrecen és Leuchars viszont kisebb különbséget mutat, sőt vannak esetek amikor a Debrecen-Leuchars sorrendisége is megváltozik.



Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, Bergen
- Eredeti állapot, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, Debrecen
- Eredeti állapot, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, Leuchars
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtét ablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Bergen
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtét ablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Debrecen
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtét ablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Leuchars

2. ábra. Éves fűtési energiaigények eredeti állapotban valamint előtét ablakkal puffer-, és üvegházhatás mellett [1]



Jelmagyarázat

- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Bergen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Debrecen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Leuchars
- - - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Bergen
- - - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Debrecen
- - - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=1,467\text{W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl}=2,788\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl}=0,765$, $U_{üv,előtét}=2,720\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét}=0,764$, Leuchars

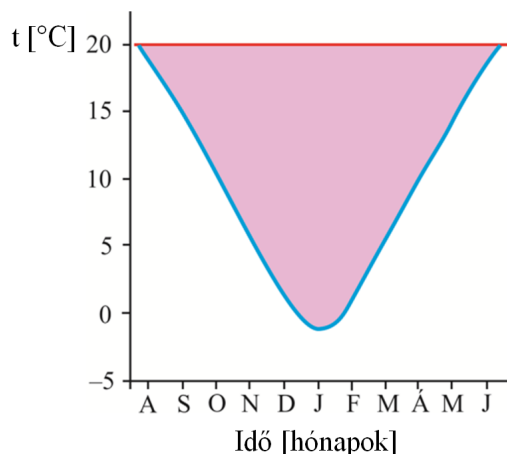
3. ábra. Éves fűtési energiaigények előtétablakkal különféle szellőzéses üzemmódokban [1]

Látható továbbá, hogy az éghajlati osztályok egyáltalán nem tükrözik a fűtési energiaigényre kapott eredményeket (hiszen az éghajlati osztályok alapján Bergen és Leuchars esetében kellene közel azonos eredménynek lennie, Debrecenre pedig ezektől jelentősen különbözőnek).

4. DISZKUSSZIÓ

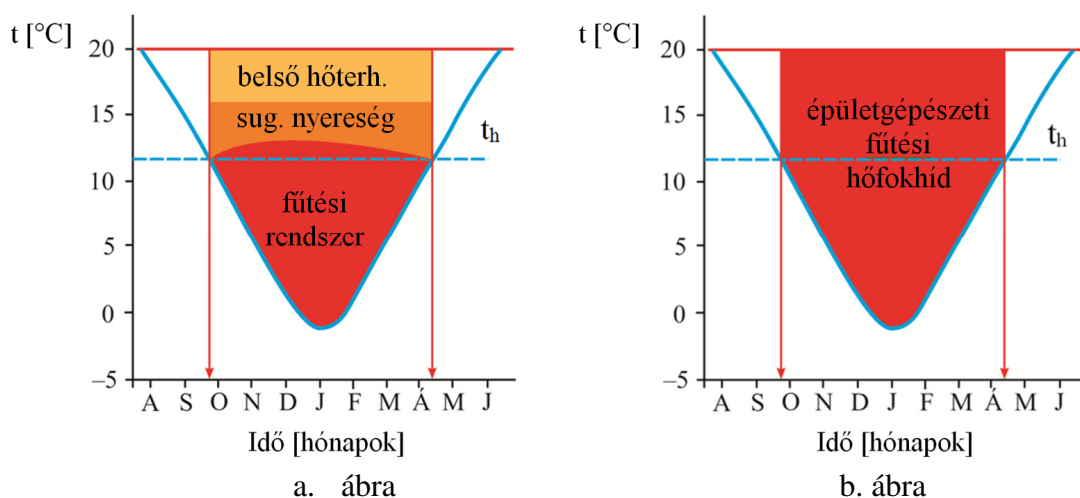
A tervezési gyakorlatban az épületek fűtési energiaigényének meghatározására használt korábbi módszerek alapja az a megközelítés, hogy a fűtési energiaigény arányos az adott földrajzi helyre jellemző „fűtési hőfokhíddal”. Ez a megközelítés azonban elvileg hibás: ha valami arányos a hőfokhíddal, az az épületből a környezetbe távozó energia, amelynek azonban csak egy részét fedezi a fűtési rendszer, más részét a passzív sugárzási nyereség és az épület rendeltetésszerű használatával együtt járó belső hőterhelések fedik le.

Az éghajlati jellemzők egyike a klimatológusok által „fűtési foksám”-nak nevezett adat, amely az épületgépészeti szóhasználatnak megfelelően „hőfokhíd” – a félreértések megelőzése végett a továbbiakban „éghajlati hőfokhíd”. Ez éghajlati jellemző: a kívánt belső t_i hőmérséklet és a külső t_e hőmérséklet különbségének integrálja az év azon részére, amikor $t_e < t_i$ (az 4. ábrán beszínezett terület).



4. ábra. Az éghajlati hőfokhíd [5]

Az épületből távozó – az éghajlati hőfokhíddal arányos – energiát az előzőek szerint három forrás fedezi. (5/a. ábra). Az, hogy ebben mekkora hányad jut a fűtési rendszerre, az épületfüggő. Tekintsünk egy „jó” és egy „rossz” épületet, ugyanazon éghajlati feltételek és azonos használati mód mellett. Az épületeket érő sugárzás és az épületek belső hőterhelése azonos. E két forrásból származó energia $t_i - t_e$ belső-külső hőmérsékletkülönbség mellett fellépő veszteséget fedez. A „jó” épületnél ez a hányad nagyobb (mert az épület hőszigetelése jó és/vagy az épület elegendő, jól benapozott transzparens szerkezettel határolt), a „rossz” épület esetében kisebb (mert annak hőszigetelése gyenge és/vagy nincs megfelelő arányban jól benapozott transzparens határolása).



5. ábra. Az épület hőveszteségének lefedése valamint az épületgépészeti fűtési hőfokhíd [5]

Mindkét esetben meghatározható az a külső hőmérséklet (fűtési határhőmérséklet, t_h), amely mellett a belső hőterhelés és a sugárzási nyereség éppen egyensúlyban van a veszteségekkel. Ha a külső hőmérséklet ennél alacsonyabb, akkor szükség van a fűtés üzemeltetésére.

A tervezési gyakorlatban a fűtési határhőmérséklet által meghatározott időtartamra számított épületgépészeti „fűtési hőfokhíd” képezi a fűtési energiaigény számításának alapját (5/b. ábra), azonban az előzőekben leírtak szerint ez már nem tekinthető éghajlati jellemzőnek, mert meghatározásához szükség van az épület jellemzőire és használati módjára.

A bemutatott példák is illusztrálják, hogy a fűtési energiaigény nem arányos a hőfokhíddal, tehát az éghajlat jellemzésére a hőfokhíd önmagában nem elegendő.

Az éghajlat komplexebb jellemzésére a „climate severity index” bevezetésével tettek kísérletet [6] [7] amelynek téli és nyári értékeit különböztették meg (az utóbbiakkal nem foglalkozunk, mivel az a hűtési energiaigény elemzésére vonatkozik).

A severity index értékében az éghajlat számos jellemzőjét figyelembe vették: hőmérséklet, sugárzás intenzitás, napsütéses órák száma, szélsébség, csapadék, stb. Kiválasztott típusépületek fűtési energiafogyasztását részletes dinamikus szimulációval határozták meg különböző földrajzi helyek éghajlati adataival, majd egy vonatkoztatási érték alapján standardizálva severity indexet állapítottak meg és regresszió analízissel vizsgálták annak összefüggését a fűtési energiafogyasztással. A kapcsolat jónak bizonyult egy kiválasztott típusépületek esetében – a módszer ebben a formában az éghajlat és az adott épület együttes jellemzésére alkalmas.

A harmadik pontban bemutatott eredmények alapján felmerül a kérdés, hogy található-e az éghajlatnak olyan jellemzője, amely független egy épülettől vagy a modell helyiségtől, és mégis megfelelően tükrözi a fűtési energiaigények várható alakulását.

A fűtési energiaigényt befolyásoló két legfontosabb éghajlati tényező a külső hőmérséklet és a sugárzási energiahozam. E kettő aránya az épülettől független egyszerűsített severity indexnek tekinthető, amely jó általános jellemzést ad az éghajlat „zordságáról”. Több információt nyerhető azonban ezen index időbeli változásának a figyelembevételével.

$$CSI_j = \frac{HDD_{18,3,j}}{Q_{glob,j}} \quad (1.)$$

ahol:

$HDD_{18,3,j}$ a j -edik hónap 18,3°C-ra vonatkozó éghajlati hőfokhídja, napfok

$Q_{glob,j}$ globál sugárzási energiahozam a j -edik hónapban, kWh/m² hó

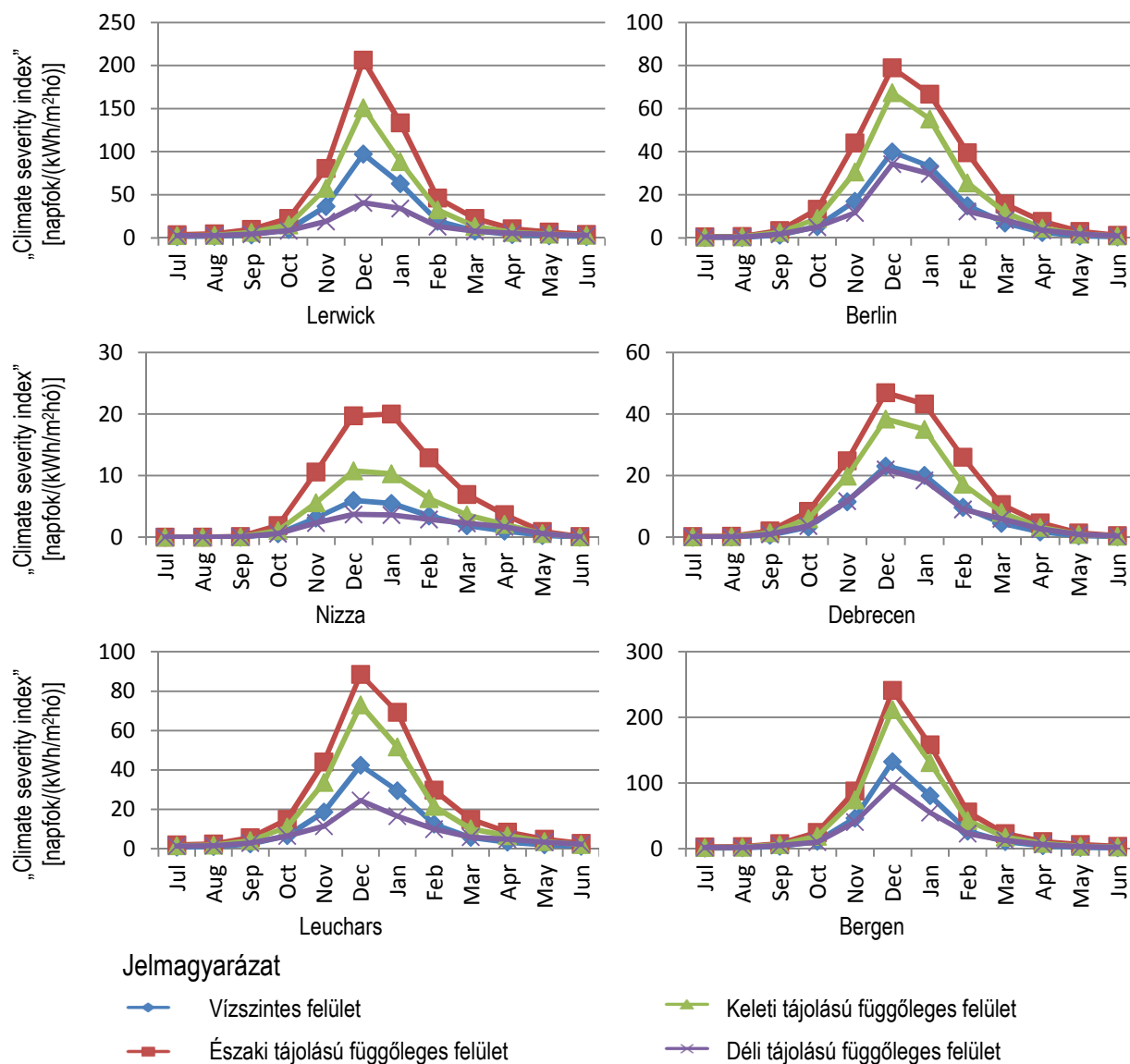
Ennek az indexnek az idő függvényében maximuma mutatkozik – a fűtés tekintetében ez a legkedvezőtlenebb helyzet, amikor a veszteségek nagyok, a sugárzási nyereség pedig kicsi. Minél „csúcsosabb” ez a függvény, annál kedvezőtlenebbül alakul a fűtési energiafogyasztás egy adott éghajlati hőfokhíd mellett. A csúcsosság a legnagyobb és az átlagérték arányaként értelmezendő.

A külső hőmérséklet és a sugárzási nyereség minimumai időben közel esnek egymáshoz. A Nap járása a napfordulók időpontjára „szimmetrikus”, a csillagászatilag lehetséges sugárzás az északi féltekén decemberben éri el az éves minimumot. A földfelszínen észlelhető globálsugárzás időbeli változása ettől statisztikai alapon értelmezhető függvények szerint eltérhet, aminek okai a nedvességtartalom, a felhőzet változása. A külső hőmérséklet menete az északi féltekén statisztikai adatok szerint jellemzően januárban éri el az éves minimumot. Az egyszerűsített „climate severity index” időbeli változását tekintve tehát van statisztikai

alapon értelmezhető függvény.

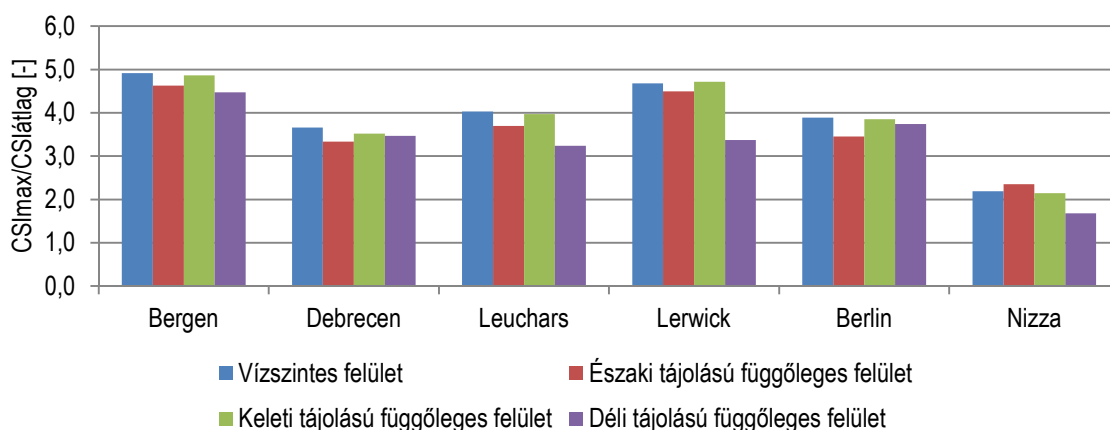
A hőfokhíd és a sugárzási nyereség kapcsolatát hat földrajzi helyre (Lerwick, Berlin, Nizza, Debrecen, Leuchars, Bergen) mutatja a 6. ábra. A sugárzási és hőmérséklet adatok forrása a Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook statisztikai adatai.

Alapvető jelentőségű a transzparens szerkezetek tájolása, ezért az egyszerűsített index értékei nemcsak a vízszintes, hanem a függőleges felületekre is meghatározásra kerültek.



6. ábra. A vízszintes és függőleges felületekre számított „climate severity index”

A 7. ábra különböző helyszínek tájolásonként differenciált „climate severity index” csúcosságának alakulását mutatja. A nagyobb hőfokhíd kétségtelenül nagyobb fűtési energiafogyasztással jár, nem közömbös azonban a hőfokhíd időbeli alakulása. A kevésbé csúcsos hőfokhíd esetében a sugárzási nyereség a veszteségek nagyobb hányadát fedezheti és a legnagyobb fűtési teljesítményigény sem olyan nagy, mint csúcsosabb hőfokhíd esetében.



7. ábra. A „climate severity index” csúcsosságának alakulása különböző helyszíneken

Az időben jobban” elnyúló” hőfokhíd kezdeti és záró szakaszai már a nagyobb sugárzási nyereségű hónapokra esnek. Itt jegyzendő meg, hogy a hőfokhíd „hossza” dátum szerint nem értelmezhető: a kezdeti és a záró szakaszok „töredezetek” abban az értelemben, hogy a viszonyítási hőmérsékletnél magasabb és alacsonyabb középhőmérsékletű napok egyenként vagy egymásra következően hosszabb-rövidebb szakaszokban többször váltakozva követhetik egymást.

További feladat a bemutatott egyszerűsített, de tájolásonként differenciált „climate severity index” havi bontásának és csúcsosságának, mint éghajlati jellemzőnek nagyobb földrajzi területekre történő kiterjesztése az épületek fűtési energia-, és teljesítményigényének jellemzése céljából, valamint az utóbbiak és ezen éghajlati jellemzők közötti viszony részletesebb értékelése nagy számú szimulációs és/vagy mérési eredmények alapján.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KEREKES A.:** *Impact of added convex windows on energy need for heating in different climatic zones*, PLEA2017-Edinburgh konferenciára befogadva: 2017. 04. 26.
- [2] **KEREKES A.:** *Ablakcseres vs. előtétáblak*, Magyar Épületgépészet, LXVI. évfolyam, 2017/4. szám, pp. 8-12. (2017)
- [3] **KEREKES A, ZÖLD A.:** *Added convex windows for improving the energy balance*, Applied Mechanics and Materials 824: pp. 339-346. (2016)
- [4] **KEREKES A.:** *A napenergiahasznosítás figyelembevétele: szabályozási anomáliák az épületenergetikában*, In: Lázár István (szerk.), Környezet és energia a mindennapokban. 283 p. Debrecen: MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, 2016. pp. 265-270. (ISBN:978-963-7064-34-0)
- [5] **ZÖLD A., et al.:** *Energiatudatos építészet 2.0*, Terc_Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. Budapest, (2016) pp. 309.
- [6] **MAKHMALBAF, A. et al.:** *Simulation-based weather normalization approach to study the impact of weather on energy use of buildings in the U.S.*, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28. 2013.
- [7] **FORD, B. et al.:** *The passivhaus standard in european warm climates: design guidelines for comfortable low energy homes, Part 3. Comfort, climate and passive strategies*, July 2007

JÁRMŰFEJLESZTÉST SEGÍTŐ KERÉKDINAMIKAI MODELLEK VIZSGÁLATA

REVIEW OF WHEEL DYNAMIC MODELS AT VEHICLE DEVELOPMENT

KINCSES Dávid¹, MEZEI Lajos¹, HAJDU Sándor²

¹hallgató, davidkincses@gmail.com, mezei.lajos14@gmail.com

¹Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem Műszaki kar

²adjunktus, hajdusandor@eng.unideb.hu

² Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem Műszaki kar

Kivonat: Cikkünkben a kerékdinamikai modellezés lehetőségeivel foglalkozunk. Bemutatjuk, hogy milyen kerékdinamikai modellek segítségével végezhető el a modellezés. Célunk Pacejka Magic formulájától egyszerűbb, kevesebb paramétert tartalmazó függvények vizsgálata, amelyek megfelelően pontos közelítést szolgáltatnak. A vizsgálatok során nemlineáris görbeillesztést alkalmazunk a Magic formula adatai és a vizsgált függvények között. Az illesztett görbéket összehasonlítottuk a Pacejka Magic formulával különböző szliptartományok esetén. Ez alapján elvégeztük az adott szakaszra leginkább alkalmas görbék kiválasztását.

Kulcsszavak: kerékmodellezés, szlip, görbeillesztés

Abstract: In this paper the possibilities of wheel dynamic modeling are shown. The type of wheel dynamic models what can be used for modeling are presented. Our aim is to investigate a simpler, less parametric function (as the Pacejka Magic formula), that provide correct accuracy. Non-linear curve fitting is used between the data of the Magic formula and the examined functions. The fitted curves and the Magic formula are compared on different slip ranges. The most suitable curves for each range are selected.

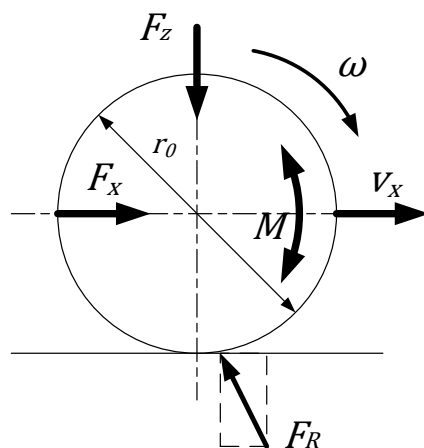
Keywords: wheel modeling, slip, curve fitting

1. A KERÉKDINAMIKAI MODELLEZÉS ELMÉLETI HÁTTERE

A kerék fő feladata, hogy erőket adjon át az út és a jármű között, így a sofőr irányítani tudja a járművet. A kerék ezen kívül egy aluláteresztő szűrő funkcióját is betölti a felfüggesztésben, amivel a magas frekvenciájú rezgéseket csökkenti, amelyeket az út kis egyenetlenségei okoznak.

A vízszintes úton gördülő járműkerékre ható erők lehetnek egyrészt aktív erők, másrészt passzív erők. Az aktív erők közül a kerék középpontján halad keresztül a függőleges terhelőerő, ami a kerék együttes tömegéből és a gépjármű tömegének a kerékre eső részéből tevődik össze. Aktív erő a vízszintes vonóerő, amivel a gépjármű tengelye tolja vagy húzza a kereket (valójában a kerék és az út érintkezési pontján ébred). A kereket a középpontja körül igyekszik elforgatni a forgató/fékező-nyomaték.

Vízszintes úton gördülő járműkerékre ható passzív erők csak akkor ébrednek, ha valamilyen aktív erő hat. Így például a reakcióerő, amely a kerék és a talaj felfekvési felületén ébred. Mivel a kerék nem pontszerűen, hanem felületen érintkezik a talajjal, a reakcióerő is egy megoszló erőrendszerként jelentkezik, amelyet azonban a számításokban egy koncentrált erővel helyettesítenek. A reakcióerő támadáspontja a függőleges szimmetriatengelyhez viszonyítva a haladás irányában eltolódik, ez okozza a gördülési ellenállást.



1. ábra. Kerékre ható erők és nyomatékok [3]

1.1. A szlip fogalma

A szlip valójában a kerék és a gépjármű sebességkülönbségéből adódó hatás. A kerék megcsúszása egy bizonyos mértékben mindig jelen van, 0 [%]-os szlipértékű gördülés nem fordul elő a valóságban. Megkülönböztetünk hajtási, valamint fékezési szlipet. Míg előbbi esetben a kerék kerületi sebessége nagyobb, mint a gépjárműé, az utóbbi esetben pedig a gépjárműé a nagyobb.

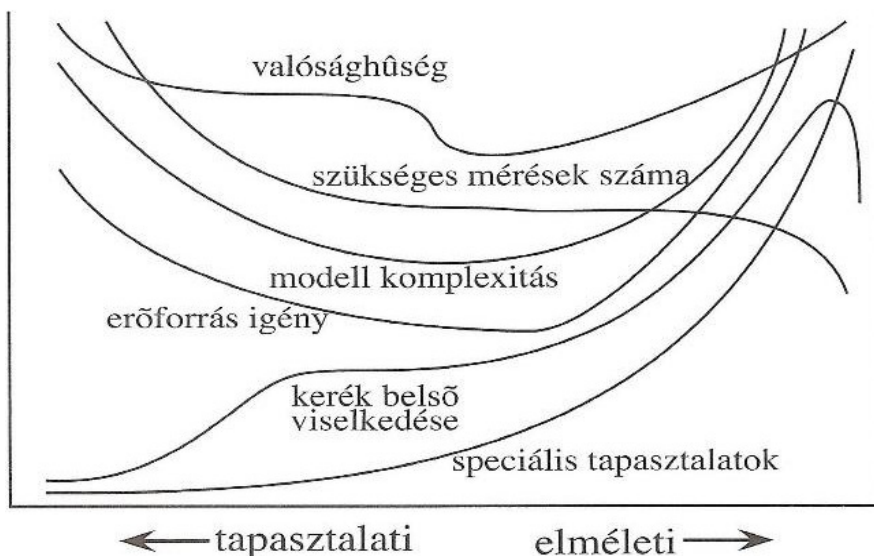
Az 1. ábra jelölésrendszere alapján a fellépő szlip számítására szolgáló összefüggések:

$$s_{hajtási} = \frac{r_0\omega - v_x}{r_0\omega}, \quad (1)$$

$$s_{fékezési} = \frac{v_x - r_0\omega}{v_x}. \quad (2)$$

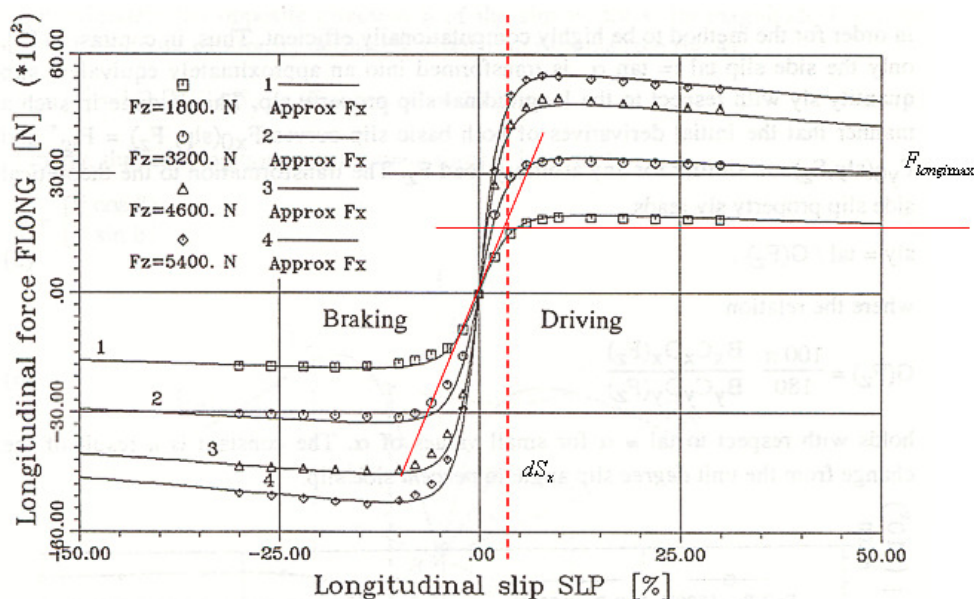
1.2. A modellezés elmélete

Szimulációs célból a kerekeknek különböző bonyolultságú modelljeit használhatjuk. Vannak komplex kerékmodellek, amelyek kevés mért adatra támaszkodnak. Ezek a modellek elméleti úton, nagy számítási igényrel dolgoznak, de a felparaméterezésükhöz nincs szükség sok mérésre. A másik lehetőség a tapasztalati, azaz sok mérési adattal dolgozó modellezés lehet. Ezeknek az eljárásoknak a valósághűsége sokkal nagyobb, de rengeteg mérést kell elvégezni a helyes paraméterezésükhöz. Természetesen egyik eljárás sem lehet csak tisztán elméleti, vagy csak tisztán tapasztalati mindkettőben szükség van a másik eljárás „segítségére” is.



2. ábra. A kerékmodellek komplexitása [2]

Nagyon sok kerékmodell született az évek során. Az egyik legpontosabb és a leggyakrabban alkalmazott modell, a Pacejka Magic Formula [5]. Ez a modell az, amelyik a lehető legpontosabban írja le a valóságot.



3. ábra. Mért eredményekre illesztett szlip függvények [6]

2. A VIZSGÁLAT BEMUTATÁSA

Többen is próbálkoztak Pacejka Magic formulájához hasonló, de egyszerűbb modell megalkotásával. A vizsgálatunk célja, hogy több ilyen rendelkezésre álló modell közül kiválasszani egy olyat, amely kevesebb paraméter segítségével dolgozik. A modell kiválasztásának szempontjából fontos irányelv az is, hogy ne csak egyszerű, de megfelelően pontos is legyen. Mivel rengeteg modell létezik, így a teljesség igénye nélkül, előzetes irodalomkutatások alapján kiválasztott modelleket vizsgálunk.

2.1. Vizsgált függvények bemutatása

Vizsgálataink során három függvényt hasonlítottunk össze Pacejka Magic formulájával. A következőkben Pacejka Magic formuláját, Burckhardt, Kiencke és Daiss, valamint DeWit függvényeit mutatjuk be.

$$f_x(s) = c_1 * \sin(c_2 \arctan(c_3 s - c_4(c_3 s - \arctan(c_3 s))))), \quad (3)$$

(Pacejka Magic formula) [1]

$$f(s) = c_1(1 - e^{c_2 s}) - c_3 s, \quad (4)$$

(Burckhardt) [1]

$$f(s) = k_s \frac{s}{c_1 s^2 + c_2 s + 1}, \quad (5)$$

(Kiencke and Daiss) [1]

$$f(s) = c_1 \sqrt{s} - c_2 s, \quad (6)$$

(DeWit) [1]

A fenti függvényekben a „ c_1, c_2, c_3, c_4 ” tagok a bemenő paraméterek, az „ s ” pedig a függvények változója, ami voltaképp a kerékszlip értéke. Látható, hogy a Pacejka Magic formulának négy bemenő paramétere van. Ez a függvény egy empirikus modellt ír le, amely a legjobban közelíti a valóságot. Azonban sok bemenő paraméterrel rendelkezik, amihez nagyszámú mérést kell elvégezni. Az összehasonlításban szereplő további modellek (Burckhardt, Kiencke and Daiss, DeWit) ezzel ellentétben kevesebb bemenő paraméterrel dolgoznak. Ezeket a későbbiekben fogjuk összehasonlítani a Pacejka Magic formulájával.

2.2. A görbeillesztés elmélete

Az empirikus kerékmodellek mért adatokra illesztett függvények, lásd 3. ábra. A mi esetünkben adott a Magic formula és az ennek segítségével generált adatokra szeretnénk illeszteni a kevesebb paraméterekkel dolgozó modelleket. Az a modell felel meg a legjobban, amelyik leginkább megközelíti a Pacejka Magic formula alapján előállított értékeket.

A vizsgálatainkban adott n darab (F_i, s_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) értékpár. Általában elméleti megfontolások alapján feltételezzük, hogy a pontok között

$$F = f(s; c_1, c_2, \dots, c_m) \quad (7)$$

függvénykapcsolat van. Esetünkben ez a (4)-(6) összefüggésekben bemutatott függvény lehet. Általában a mérés során véletlenszerű hibák terhelik a mérési pontokat. A mi esetünkben viszont a feladat jellegéből adódóan kapott F_i és a (7) összefüggés által nyert értékek eltérnek egymástól:

$$F_i - f(s; c_1, c_2, \dots, c_m) = \varepsilon_i \quad (8)$$

Ezt az eltérést a legkisebb négyzetek módszerével szeretnénk csökkenteni, tehát az

$$S(c_1, c_2, \dots, c_m) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (9)$$

összeget kell minimalizálnunk.

Keressük tehát az

$$S(c_1, c_2, \dots, c_m) = \sum_{i=1}^n [F_i - f(s; c_1, c_2, \dots, c_m)] \quad (10)$$

függvény minimumát az c_i -k függvényében. Amennyiben a f függvény az c_i paraméterek szerint differenciálható, akkor a minimum szükséges, de nem elégséges feltétele:

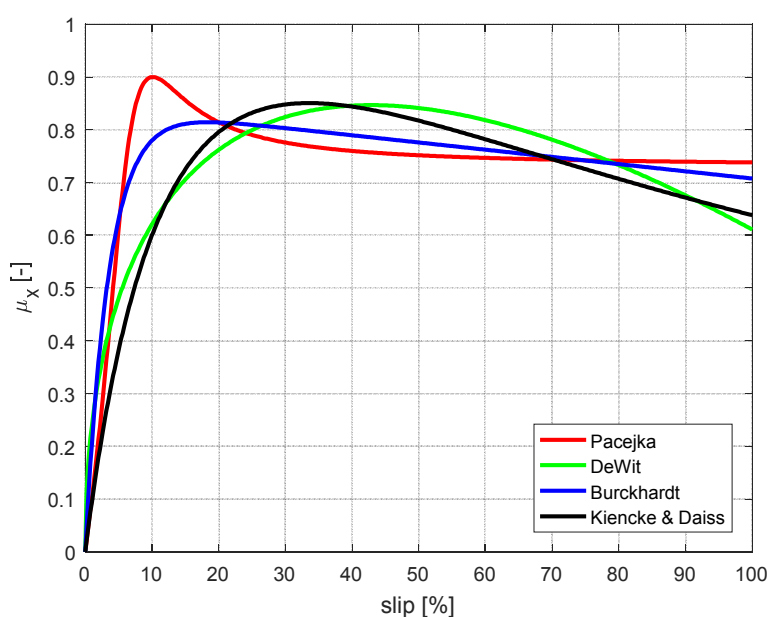
$$\frac{\partial S}{\partial c_1} = 0; \frac{\partial S}{\partial c_2} = 0; \dots; \frac{\partial S}{\partial c_m} = 0. \quad (11)$$

A gyakorlatban többféle módszer terjedt el a fenti többváltozós szélsőérték probléma megoldására.

3. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Az előzőekben bemutatott görbeillesztést egy matematikai program segítségével elvégeztük mindhárom függvény esetében. Kezdetben a vizsgálatokat a 0-100 [%] szliptartományon való görbeillesztéssel végeztük el. Ezután az itt szerzett tapasztalatok alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy redukált szliptartományokon is célszerű elvégezni a vizsgálatot.

3.1. A teljes szliptartományon végzett illesztés

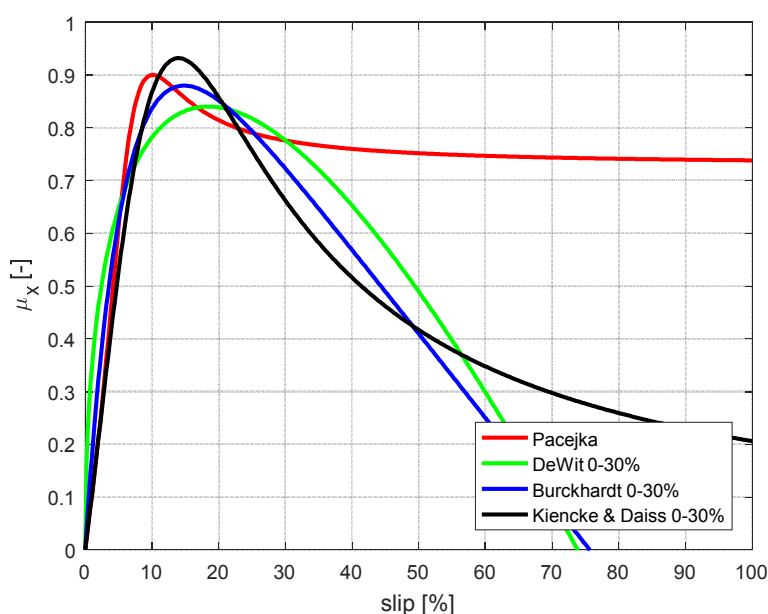


4. ábra. 100 [%]-os szliptartományon vett görbeillesztés

Ebben az esetben a teljes (0-100 [%]-os) szliptartományon végeztük el a görbeillesztést. Jól látható, hogy a vizsgált függvények sem a csúcsérték helyében és értékében sem közelítik meg a Magic formulával kapott értékeket. Sőt, még a görbék alakja is lényegesen eltérő.

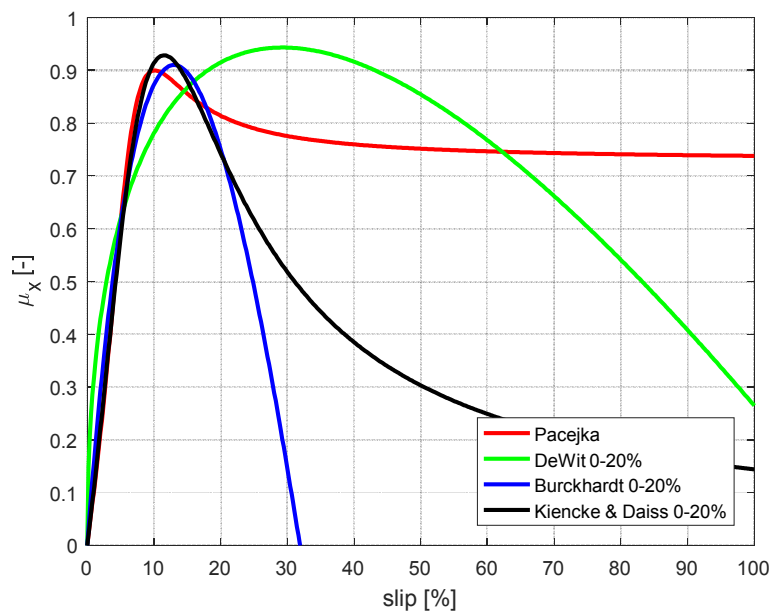
3.2. A részleges szliptartományokon végzett illesztés

Mivel a valóságban nagyon nagy szlip értékek nem gyakran fordulnak elő, így arra a döntésre jutottunk, hogy alacsonyabb tartományokon kezdjük el elvégezni a görbeillesztést, és ezeken vizsgálódunk. Ha kitüntetünk egy bizonyos tartományt az illesztés szempontjából, akkor logikusan az fog következni, hogy ezen a tartományon a görbék jobban fognak hasonlítani a kívánt alakra. Azonban a görbe többi szakasza emiatt lényegesen el fog térni, mivel nem arra a szakaszra történt a görbeillesztés.



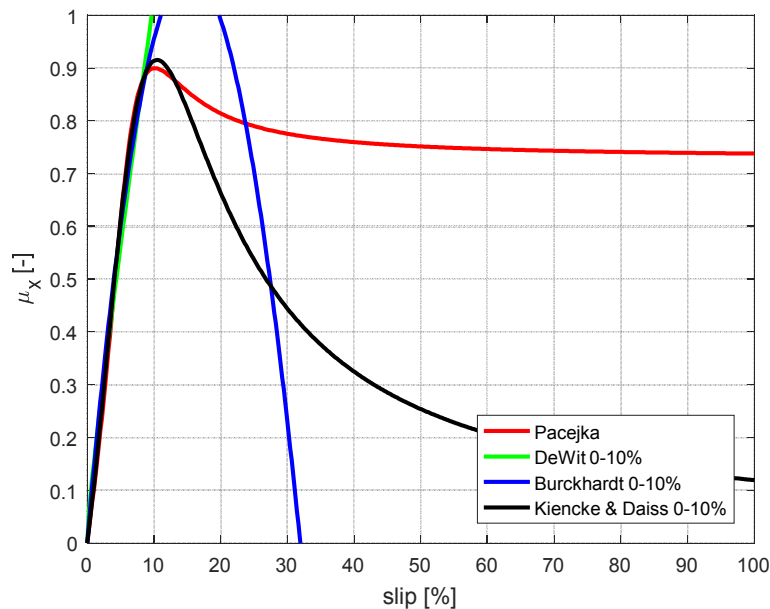
5. ábra. 30 [%]-os szliptartomány vizsgálata

Elsőként a 0-30 [%]-os tartományon végeztük el a görbeillesztést. Mint látható, a görbék alakja, csúcsértéke, és a csúcsérték helye is sokkal közelebb áll a kívánthoz.



6. ábra. 20 [%]-os szliptartomány vizsgálata

Ezután a 0-20 [%]-os szliptartomány vizsgálata következett. Mint látható, a DeWit függvény nagymértékben eltér az adatoktól. A másik két függvény kedvezőbben viselkedik és még inkább közelíti a kívánt alakot a vizsgált tartományon.



7. ábra. 10 [%]-os szliptartomány vizsgálata

Végül a 0-10 [%]-os tartományon végzett görbeillesztés következik. Ezen a szakaszon mind a már korábban nem megfelelő képet adó DeWit, mind a Burckhardt függvény nagyon közel áll a Magic formulához. A Kiencke and Daiss függvény mégis az, amelyik a csúcserőben is nagyon megközelítette Pacejka Magic formulájának alakját.

3.3. Konklúzió, értékelés

Elmondhatjuk, hogy a görbeillesztés módszere jól működött az általunk megvizsgálni kívánt esetben. A tartományok csökkentésével szignifikáns javulást értünk el a görbékkel a releváns tartományokban. Azt mindenesetre figyelembe kell vennünk, hogy ha 0-100 [%]-os szliptartományon szeretnénk dinamikai szimulációkat végrehajtani, akkor csak a Pacejka Magic formula az egyetlen szóba jöhető modell, hiszen ez a legmegfelelőbb erre a célra a pontossága miatt. A valóságban leginkább előforduló, 0-10 és 0-20 [%]-os szlip tartományokra, a csúcsérték figyelembe vétele mellett a Kiencke and Daiss függvényt kell választanunk. Ez az a függvény, amelyik a későbbiekben kevés mért érték mellett is megfelelő pontosságot biztosíthat a járműdinamikai modellekben.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CARLOS CANUDAS-DE- WIT, PANAGIOTIS TSIOTRAS, EFSTATHIOS VELENIS, MICHAEL BASSET AND GERARD GISSINGER:** *Dynamic Friction Models for Road/Tire Longitudinal*, 2002.10.14.
- [2] **GÁSPÁR PÉTER, SZABÓ ZOLTÁN, BOKOR JÓZSEF:** *Járműdinamika és Irányítás*, 2015.
- [3] **MEZEI LAJOS, KINCSES DÁVID, DR. HAJDU SÁNDOR:** *Gépjármű keréken ébredő erők mérése*, Tudományos Diákköri Konferenciára készített dolgozat, 2016.12.05.
- [4] **HAVANCSÁK KÁROLY:** *Mérési Adatok Kezelése és Értékelése*, 2012.
- [5] **HANS B. PACEJKA:** *Tire and Vehicle Dynamics*, 2005.
- [6] http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/_ontomos/paginas/AMESim4.2.0/libtr/doc/html/submodels/TRTY1A.html (letöltés időpontja: 2017.06.01.)

VILLANYBOJLER MEGFOGÓ SZERKEZET TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE

CONSTRUCTION DESIGN AND MODELING OF ELECTRIC BOILER GRIPPER DEVICES

KISS János¹, BODZÁS Sándor²

¹hallgató, demonstrátor, jasiksson@gmail.hu

¹Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

²Ph.D., főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu

² Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

Absztrakt: A konferenciára való kutatómunka célkitűzése a HAJDU Ipari Zrt. vállalatnál különböző átmérőjű bojlerok nyomáspróbázó kádba történő emeléséhez szükséges egyetemes megfogó készülék gyártáshelyes konstrukciós tervezése. A bojlerok geometriai adatait figyelembe véve megtervezem a megfogó készülék elemeit, majd elkészítem a készülék 3 dimenziós számítógépes modelljét. A modell alapján számítógépes szimulációval vizsgálom a készülék működését.

Kulcsszavak: Villanybojler, Megfogó szerkezet, HAJDU, Modellezés

Abstract: The aim of my scientific student's research at HAJDU Ipari Zrt. is the construction design of producible universal gripper for lifting of boiler having different dimensions to be fit into pressure testing vessels. Considering the geometric establishment of the boilers we design the gripper's elements, then create its 3D computer aided model. According to the model we examine the function of the device using computer simulation.

Keywords: Electric Boiler, Gripper Devices, HAJDU, Design and Modelling

1. BEVEZETÉS

Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2017 kutatómunkát a HAJDU Hajdúsági Ipari Zrt. vállalatnál végezzük, ahol egy konstrukciós problémát kell megoldani. A feladatot a minőségellenőrző részleg adta, ahol a jelenleg használt bojler megfogási konstrukció helyett kell egy új szerkezetet megtervezni a szivárgásellenőrző részlegnek.

Jelenleg egy úgynevezett bojlerkeretbe húzzák bele a villanybojler tartályokat, amelyek a kerettel együtt merülnek el a nyomáspróbázó kádban (1. ábra). Azonban a keret geometriai formája miatt nem lehetséges minden méretű bojler teljes egészében a víz alá meríteni, így az ellenőrzött bojlerok nem értékelhetők (2. ábra) [5.]



1. ábra. Bójlerkeret a nyomáspróbázó kád felet



2. ábra. Felúszott bójler tartály

Erre a problémára kellett egy gyártáshelyes konstrukciót terveznem, amely képes a legkisebb és legnagyobb átmérőjű, valamint a legrövidebb és leghosszabb bójlertartályokat is stabilan megfogni, az ellentétes irányú terhelések (gravitáció és hidrosztatikai felhajtás) esetén is.

2. A MEGFOGÓ SZERKEZETEK ALAPJAI

A megfogó szerkezet olyan szerkezeti egység, amely a mozgatandó, manipulálandó tárggyal közvetlen kapcsolatban van, a tárgyat megfogja, biztosan megtartja, az előírt helyzetbe hozza, majd leteszi és elengedi.

A megfogó szerkezet, az emberi kéz munkavégző képességét és annak mozgását igyekszik másolni így a legmegfelelőbb mozgás az lenne, ha az emberi kéz mozgását tudnák megvalósítani, de ez csak nehezen valósítható meg.

A megfogó szerkezetnek két fő része van:

- a megfogó egység, amely közvetlenül érintkezik a mozgatandó tárggyal, jelen esetben a villanybójler tartállyal.
- a mozgató egység, amelynek feladata a megfogó egység mozgatása, az általam tervezett megoldásban ezt a mozgást a pneumatikus munkahenger végzi csapok segítségével.

A megfogási elv alapján 3 csoportot tudunk megkülönböztetni. A mechanikus (jelen esetünkben), pneumatikus (vákuumos), és elektromos (mágneses) megfogó szerkezetet. [1.]

A mechanikus megfogást szintén tovább csoportosíthatjuk, hogy általános ipari alkalmazásoknál milyen konstrukciós megoldásokkal működnek. A konstrukciók az alábbi típusok valamelyikébe sorolható:

- Olló és fogó típusúak

- Satupofa, más néven párhuzampofás típusúak
- Hárompontos megfogó szerkezetek

Az általam tervezett megfogó szerkezet a hárompontos megfogás konstrukciójával működik.

A hárompontos megfogás előnyei:

- A pontos helyezés és központosítás,
- Nagyobb megfogási tartomány

Hátrányai:

- Nagyobb méretek és tömegköltségek
- Romlik a hozzáférhetőség

A tárgy és a megfogó szerkezet kapcsolatának jellege szerint 3 különböző típusú megfogást különítünk el. Ez a három megfogás az alakkal záró, az erővel záró és az adhézióval létesített kapcsolat [2.]

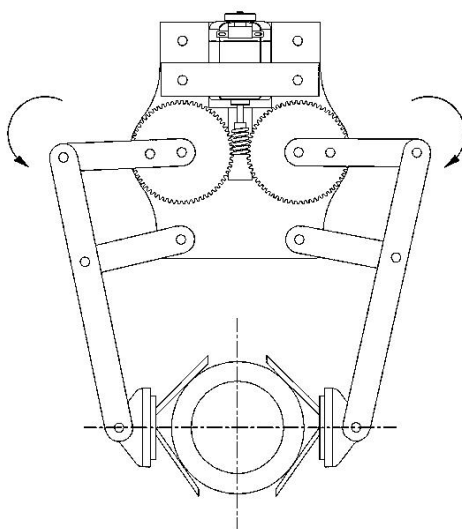
3. MEGOLDÁSI LEHETŐSÉGEK

Kettő különböző működésű és elvű megfogó szerkezetet terveztünk meg, melyek közül a fent említett pneumatikus működtetésű megfogót dolgoztunk ki részletesebben.

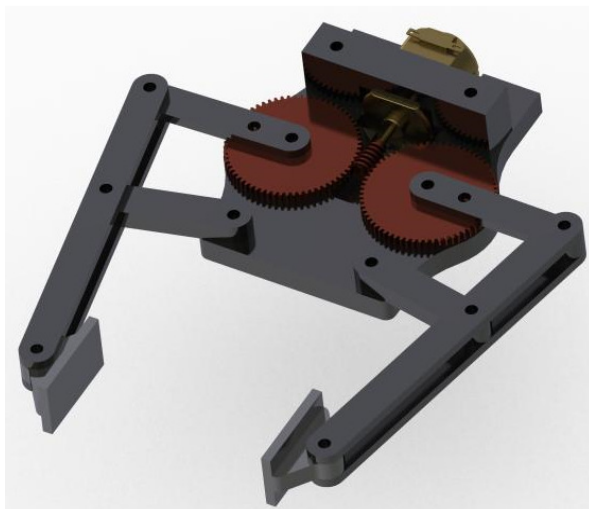
3.1. Szervo motoros megoldás

Az első megoldásunknál egy szervo motorral működtetett szerkezetet terveztünk, melynek karjai csigakerék-hajtással mozognak. A megfogó egység része egyszerűen leszerelhető, így gyorsan át lehet állni vele különböző méretű és idomú tartályok ellenőrzésére (3., 4. ábra).

A szervo motoros megfogó szerkezet előnyei, hogy a fogaskerekek között a csigás meghajtással kényszerkapcsolat jön létre, mellyel kizárható, hogy az egyik kar gyorsabban zárjon össze, mint a másik, így sikertelenné téve a bojler megfogását, és a karok hosszának változtatásával, bármilyen mélységekbe leengedhető a bojler tartály.



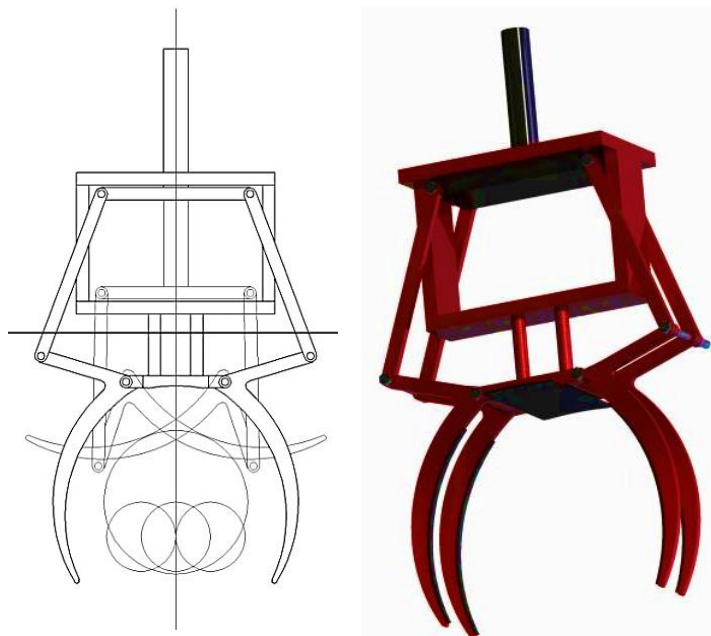
3. ábra. Szervo motorral meghajtott megfogó szerkezet egyszerűsített 2D modellje



4. ábra. Szervo motorral meghajtott megfogó szerkezet egyszerűsített 3D modellje

3.2. Pneumatikus működtetésű megfogó szerkezet

A végső megoldásunk egy egyszerű pneumatikus munkahengerrel működtethető szerkezet (5. ábra). A lineárisan mozgó pneumatikus munkahengerhez csatlakozik a megfogó szerkezet felső része. A munkahenger lefelé irányuló mozgásával a nyomószerkezet a karokat a csapok körül elforgatja, így azok összezárnak. A két ellentétes oldali kar szélessége különböző így egymás között el tudnak haladni anélkül, hogy hozzáérnének a másikhoz. Ezzel a technikával a karok szinte teljesen össze tudnak záródni, így mind a legnagyobb és legkisebb átmérőjű bojlertartályokat is stabilan 3 ponton meg tudják támasztani. [3.]



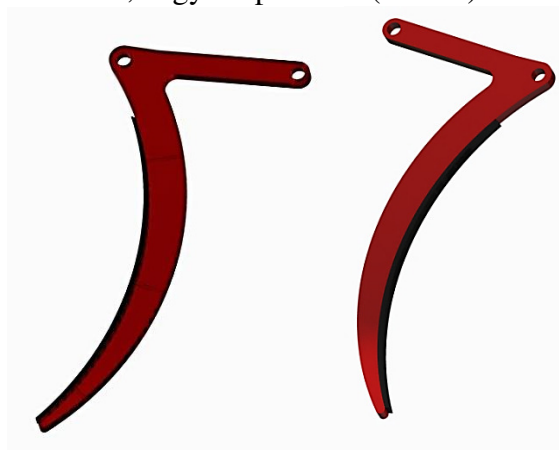
5. ábra. Pneumatikusan működtethető megfogó szerkezet 2D és 3D modelljei

A karok mentén végig és a felső felütköztető részen is egy vékony gumilap található mely védi a bojler külsejét az ütközésektől, koccanásoktól, és egyaránt védi a belső zománcréteget is ez által

A megfogó szerkezet karjainak elmozdulását a csapok teszik lehetővé. Az általam tervezett csap egy speciális M30-as csavar melynek csak a végén van menet, ahol önzáró anyával rögzíthető a megfogás.

A tervezés során figyelembe vettem, hogy a szerkezet minden része egyszerűen legyártható legyen. [4.]

A bojler megfogó karokon és a felső felületre, ahová felfekszik a bojlertartály, gumi lapokat terveztünk. E módon elkerülhető, hogy a bojlertartály belsejében lévő zománc réteg megsérüljön az ütdésektől. Emellett a gumilapnak köszönhetően kívülről sem sértődik meg a tartály felülete, például karcolástól, vagy horpadástól (6. ábra).



6. ábra. Megfogó karok gumilappal

A megfogó készüléken a nyomólap, a csapok, és a karok kialakítása miatt kényszerkapcsolat áll fent, ezáltal kiküszöböltük azt a problémát, hogy az egyik kar hamarabb záródjon, mint a másik oldali (7. ábra). Így az esetleges külső zavaró tényezők sincsenek hatással a szerkezet megfelelő működésére. [7.]

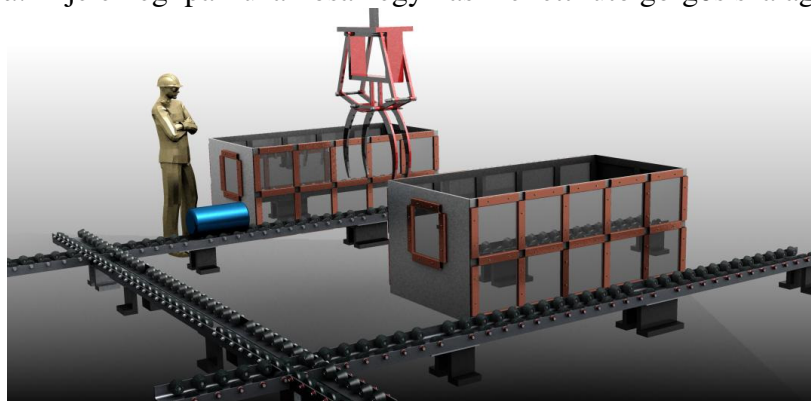


7. ábra. A szerkezet kényszerkapcsolatát biztosító elemek

A megfogó szerkezet további előnye, hogy bevezetése által ellenőrizhetőek lesznek a fali bojlertartályok mind a kettő szivárgásellenőrző részén a gyárnak. Ezáltal a Lean-elveket figyelembe véve, amennyiben a kettő jelenleg futó görgős szállítópálya közé (8. ábra) merőlegesen elhelyezünk egy új szállítópályát és lehetővé tesszük, hogy a fali tartályos sorról is könnyen áramolhasson a villanybojler tartály a másik szalagra (9. ábra). További időt nyerünk, nagyobb lesz a hatékonyság, és ezáltal a költségek is kedvezően változnak.



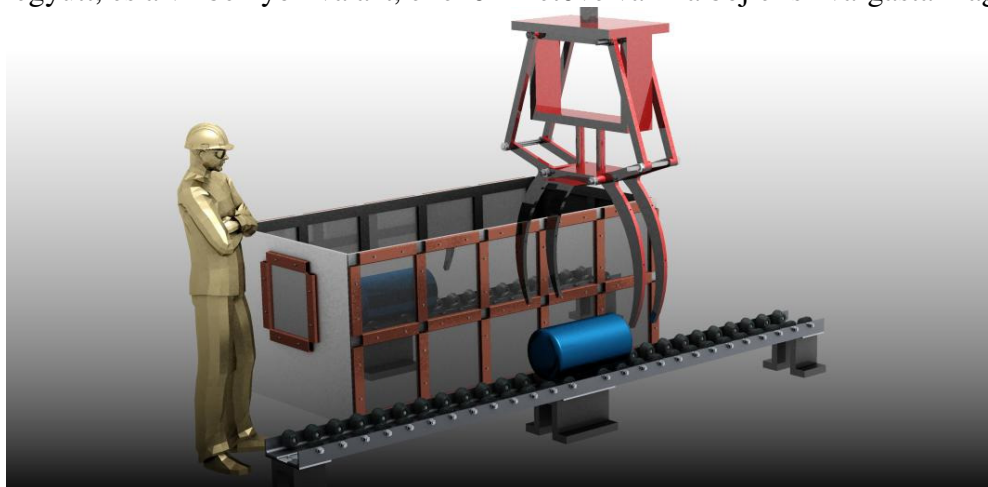
8. ábra. A jelenlegi párhuzamosan egymás mellett futó görgős szalagpályák



9. ábra. A Megfogó szerkezet bevezetése mellett javasolt kialakítás

4. PNEUMATIKUS MŰKÖDTETÉSŰ MEGFOGÓ SZERKEZET MŰKÖDÉSE

A megfogó szerkezet leereszkedik addig a magasságig, amíg a megfogó szerkezet karjai biztonságosan feltudják emelni a bojlert. Ha elérte a megfelelő magasságot, akkor a pneumatikus munkahenger elindul és a karok összezáródnak (10. ábra). Összezáródás közben a karok megemelik a bojler, és addig záródnak, amíg a bojler a megfogó szerkezet felső részéhez kialakított felülethez ér. Amennyiben ezt a pontot elérte biztossá válik a fogás, ugyanis így már 3 ponton fogja meg a bojler. Ezután a szerkezet felemelkedik és a nyomáspróbázó kád fölé mozog. Miután a kád fölé kerül a megfogó, újra elindul lefele a bojlerrel együtt, és a vízbe nyomva azt, ellenőrizhetővé válik a bojler szivárgástanilag.



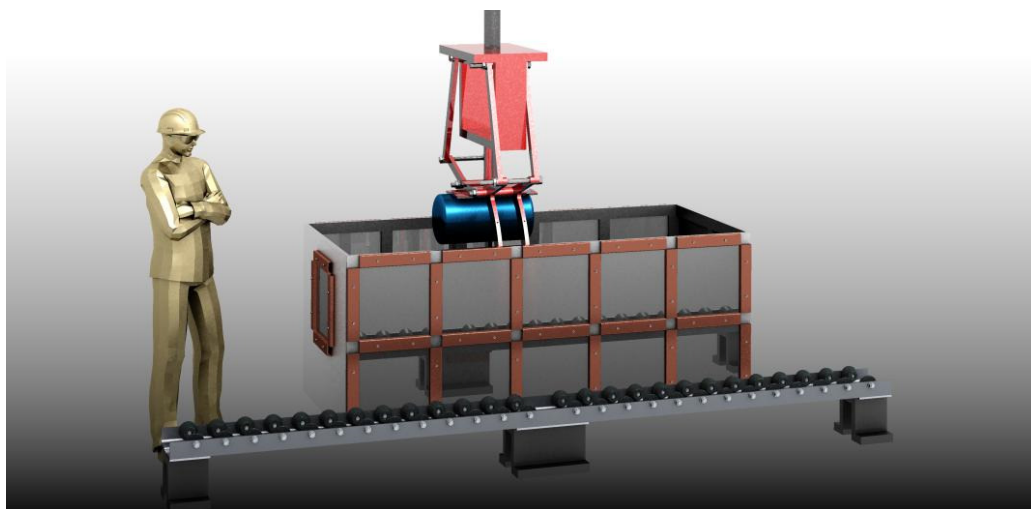
10. ábra. A megfogó szerkezet a bojler felett

Mivel a karok egymáshoz képest nem egy síkban vannak, így képesek keresztezni egymást. A keresztezés teszi lehetővé, hogy bármilyen méretű bojlertartályt képes legyen stabilan megfogni, és a megfelelő helyre szállítani (10. ábra). A karok távolságát úgy terveztük, hogy változtatható legyen adott keretek között, ezt távtartókkal oldottuk meg.



10. ábra. Legkisebb átmérőjű tartály megfogása

A tervezés folyamán figyelembe kellett venni a geometriai méreteket, hogy a megfogó szerkezet bármilyen méretű bojlerrel képes legyen a nyomáspróbázó kádba belemerülni. Ezen elv mentén alakítottuk ki a nyomókarokat az adott hosszúságukra, hogy zárt állapotban biztosan elférjen leereszkedés közben (11. ábra).



11. ábra. Legnagyobb méretű bojler tartály a megfogó szerkezettel a nyomáspróbázó kádban

ÖSSZEFOGLALÁS

A Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2017 kutatómunka során megterveztünk egy olyan egyetemes megfogó készüléket, mely képes a különböző átmérőjű villanybojler tartályokat a nyomáspróbázó kád melletti szalagról a kádba helyezni, ott a

vízben tartani, majd visszahelyezni a szalagra. A bojlerek geometriai adatait figyelembe véve megterveztük a megfogó készülék elemeit, majd elkészítettük a 3 dimenziós számítógépes modelljét PTC Creo szoftverrel. A modell alapján számítógépes szimulációval vizsgáltuk a készülék működését.

KÖSZÖNET NYILVÁNÍTÁS

Köszönöm a HAJDU Ipari Zrt. vállalatnak, hogy lehetővé tették számomra a kutatómunkát. Továbbá köszönöm Péntes Gergőnek szakmai hozzájárulását, figyelmét és jó tanácsait. Köszönöm Dr. Bodzás Sándornak egyetemi konzulensemnek iránymutatását, ötleteit, támogatását és mindennemű segítségét.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] **PINTÉR J.:** *Ipari robotok megfogó szerkezetei*, 7. előadás
- [2.] **KOCSÁDY J., PINTÉR J.:** *Szerszámgépek és gyártórendszerek*, Széchenyi István Egyetem, 2011.
- [3.] **FAZEKAS L.:** *Válogatott fejezetek a gépészeti alapismeretekből*, Budapest, 2013
- [4.] **DUDÁS I.:** *Gépgyártástechnológia I. A gépgyártástechnológia alapjai*. Egyetemi tankönyv. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2000. p. 583. ISBN 963 16 4030 2
- [5.] **DANIEL T. JONES - JAMES P. WOMACK:** *Lean szemlélet - A veszteségmentes, jól működő vállalat alapja* 2009, ISBN 978-963-9686-83-0
- [6.] A HAJDU Hajdúsági Ipari Zrt. hivatalos internetes oldala: <http://hajdurt.hu> {online}

MENTÉSI, FELDERÍTÉSI FELADATOKAT SEGÍTŐ ROBOTREPÜLŐGÉP BEMUTATÁSA

INTRODUCING A MULTIROTOR FLYING MACHINE FOR ASSIST AT SEARCH AND RESCUE TASKS

KOBA Máté

Tanszéki mérnök, autkmate@uni-miskolc.hu
Automatizálási és Infokommunikációs Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A cikkben bemutatásra kerül egy többmotoros repülőgép fejlesztésének folyamata, ami kutatási, mentési feladatoknál történő asszisztálást tesz lehetővé. A fejlesztés költségeit a Nemzeti Tehetségprogram NTP-NFTÖ-16 számú pályázatán elnyert ösztöndíjból finanszíroztam. A cikkben bemutatásra kerülnek a többmotoros repülőgépek elődei, néhány mostani változat és az általam fejlesztett repülőgéphez hasonló alkalmazások is. Bemutatom a fejlesztésnél figyelembe vett tényezőket és a repülő főbb alkotóelemeit.

Kulcsszavak: felderítés, hőkamera, többmotoros repülő, katasztrófavédelem

Abstract: In this paper I introduce the development of a multirotor flying machine which is capable of assist at search and rescue tasks. The costs of the development is financed by my scholarship which I earned at „Nemzeti Tehetségprogram, NTP-NFTÖ-16” tender. In this article I introduce the history of multirotor flying machines, some of today’s liked constructions and some developments familiar to mine. I also introduce which guidelines I applied for my construction and major parts of my construction.

Keywords: reconnaissance, thermal camera, multirotor flying machine, disaster recovery

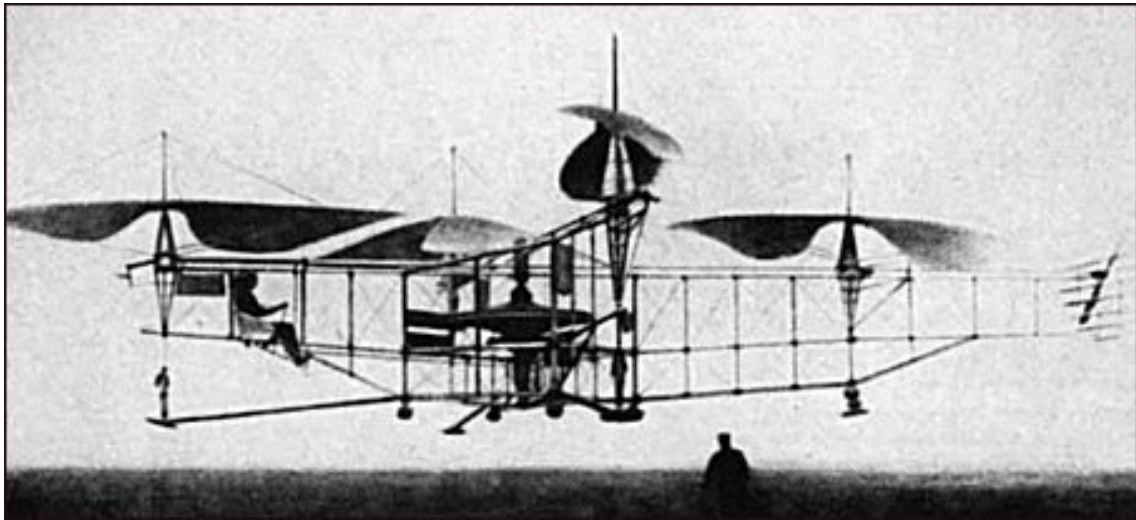
1. BEVEZETÉS

Napjainkban nagy népszerűségnek örvendnek a kisméretű, négy vagy többmotoros robotrepülőgépek. Mostanra már léteznek 3, 4, 6 vagy akár 8 motoros változatok is, de lényegében mindegyiknek ugyanazon az elven működik az irányítása. Az irányítási elv nem más, mint a propellerek fordulatszám-különbségéből adódó manőverezés. Nagy előnye ezeknek a szerkezeteknek, hogy a technika fejlődésével méretük egyre kisebb lehet, hátrány viszont a nagyobb méretű szerkezeteknél van, ahol a nagyobb össztömeget nagyobb kapacitású akkumulátorokról kell üzemeltetni, viszont a nagy áramigényük miatt ez nem lehetséges túl hosszú ideig. Manapság a hobbi célú felhasználás mellett sokan használják légifelvétel készítésére ezeket az eszközöket, az ipari és egyéb alkalmazások terén az utóbbi 1-2 évben történtek jelentős fejlődések.

2. TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS

Ugyan a bemutatni kívánt repülő szerkezethez hasonló gépek az utóbbi néhány évben hódítanak teret a modellezők körében, az első ilyen példányok már az 1900-as években megjelentek.

Az első ilyen repülőgéppel megtett nagyobb távolság rekordja Étienne Oehmichen nevéhez fűződik. A francia mérnök 1924-ben építette meg azt a szerkezetet, amivel 360m távolságot tett meg a levegőben, ezzel világrekordot felállítva. Az általa készített gépezet látható az 1. ábrán. George de Bothezat az amerikai hadsereg számára fejlesztett akkoriban egy hasonló szerkezetet, azzal tesztrepüléseket is végzett de a programot a hadsereg felszámolta.



1. ábra Az első többmotoros repülőgép [2]

A kezdeti többmotoros repülőgépek hatásfoka nem volt túl nagy, a hajtást szíjak és kapcsolt tengelyek segítségével oldották meg. A propellereket nem mindig sikerült teljesen egyformára gyártani, így a szerkezetek stabilitásával is jelentős gondok adódtak. A technika fejlődésével, újra felhozták az ilyen repülőgépek lehetőségét, bár nem utasszállítási hanem hobbi célú alkalmazásokban van nagy szerepe.

2.1 Modern többmotoros repülőgépek

Napjainkban az ilyen repülő szerkezetek elsődlegesen hobbi célú felhasználása népszerű. A nagyobb gyártók (Parrot, DJI, Tarot) termékeit megvéve a felhasználó egy kész repülőt irányíthat. Lehetőség van alkatrészenként megvásárolni és megépíteni egy ilyen szerkezetet. A gyárilag épített repülők népszerűek ugyan, de azokon a módosítási lehetőségek korlátozottak.

A 2. ábrán látható, a Parrot cég által gyártott quadrokopter nem kifejezetten mentési feladatokra szánt, szórakoztatóelektronikai eszköz.



2. Ábra Bebop 2 [3]

A terméket amerikai tűzoltók használják tűzoltási munkálatok folyamán, ugyanis a szerkezetet akár egy okostelefonról is irányítani lehet. A berendezés hátránya, hogy nagymértékben optimalizálták a tömegét, ezáltal a gyárilag megadott 25 perces repülési idő drasztikusan csökkenhet, ha egy nehezebb hőkamerát szerelnék fel rá, továbbá a számottevő változtatásokat a vázszerkezet is nehezíti.

2.2 Speciális feladatra készített többmotoros repülőgép

Koreai mérnökök fejlesztettek egy tűzálló quadcopter-t ami a Peltier-hatáson alapuló módon képes hűteni magát, emellett egy aramid-nek nevezett tűzálló anyaggal is be van vonva így akár 1000C°-os külső hőmérséklet mellett és lángok között is működőképes marad. Butánégővel tesztelve a fejlesztők több mint egy percig működőképesnek találták ilyen körülmények között. Az eszköz 2D-s lézerszkennert és többfajta szenzor segítségével tudja pozícionálni magát, térképezni és meghatározni saját helyzetét.



3. Ábra F.A.R.O.S.

A 3. ábrán látható, F.A.R.O.S. névre keresztelt szerkezetet a tűzoltóság használhatja, segítségével az oltás megkezdése előtt feltérképezhető az érintett terület.

3. SPECIÁLIS FELADATOKAT ELLÁTÓ ALKALMAZÁSSAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

A hobbi célra készített repülőgépek ugyan tartalmaznak némi biztonsági óvintézkedést például az akkumulátor lemerülésében bekövetkező lezuhanás megakadályozására vagy a rádiójel elvesztése esetén GPS segítségével visszatér a felszállóhelyre de az esetleges ipari környezetben történő használatra vagy egyéb speciális feladatok ellátásánál ezen rendszerek meglehetősen nem elegendő. A biztonsági rendszerek meghatározása előtt érdemes tisztában lenni a repülőgép és a távirányító berendezés képességeivel.

3.1 Felszereltség

A fejlesztés során első lépés volt meghatározni a robotrepülőgép felépítését, különböző rendszereit. Az irányítás rádiókommunikációval történik, 2.4GHz frekvencián. A

komunikáció során az adó és vevő egységek által használt csatorna dinamikusan kerül kiválasztásra, frekvenciaugrást alkalmazva.

Az általam választott távirányító egység gyártó által megadott hatótávolsága optikai rálátással több, mint 1.5 km. A terepviszonyok azonban nagyban befolyásolják a hatótávolságot. A hatótávolság meghatározásához többfajta terepviszonyok között is méréseket kell végezni.

A robotrepülőgép felszereltsége:

- hőkamera
- szállítódoboz
- videórendszer.

A robotrepülőgép felszereltségéhez tartozik egy videórendszer, amely segítségével egy hagyományos miniatűr kamera, illetve egy hőkamera képe továbbítható. A videójel továbbítása szintén rádiófrekvenciás adó-vevő egységekkel történik, itt viszont a vivőfrekvencia 5.8GHz. A hatótávolság meghatározásához szükséges az összes vezeték nélküli kommunikációs berendezés vizsgálata.

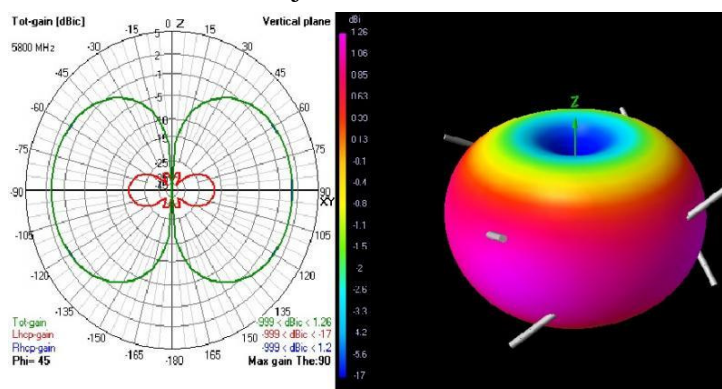
3.2 TBS UNIFY PRO HV MÉRÉSE

A 4. ábrán látható videó továbbítóre különböző antennákat lehetséges felszerelni, továbbá az adóteljesítmény 20mW és 800mW között állítható, ezáltal a hatótávolság kiterjeszthető.



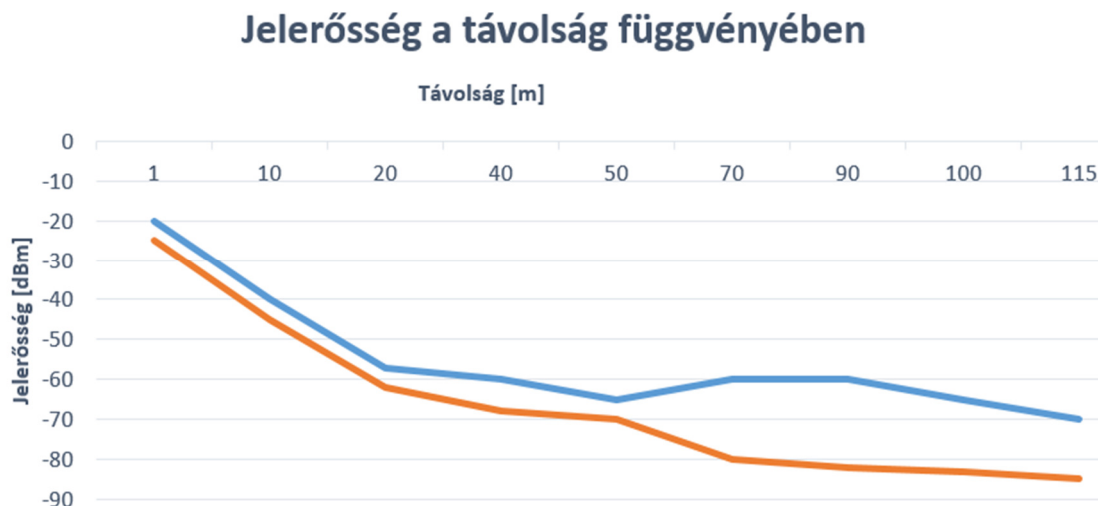
4. ábra Videó adó [4]

A különböző antenna karakterisztikák lehetővé teszik, hogy a szórt jel szétterüljön vagy egy bizonyos irányba koncentrálódjon. Ennél az alkalmazási módnál a szórt jel használata előnyösebb, ugyanis nagy távolságoknál nem biztos, hogy az irányító tudja, hogy milyen irányban van a repülőgép és az irányított antennák esetében csak egy szűk sáv áll rendelkezésre a jel megfelelő minőségű vételére illetve továbbítására. Az 5. ábrán látható az általam választott antenna karakterisztikája.



5. ábra "Gomba" antenna karakterisztika [4]

Az 5. ábrán látható, hogy ennek az antennának is van hátránya, ugyanis a sugárzott jel az ábrán jelölt z tengely irányában bizonyos területen nem terjed. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az adott antenna felhelyezésnél ügyelni kell arra, hogy a gyengén besugárzott irány semmiképpen se mutasson az irányító felé, ez legkönnyebben úgy érhető el, hogy az antenna felhelyezésekor annak z tengelye a függőlegeshez képest 10-45°-os szögben megdőntve álljon. A 6. ábrán található grafikon mutatja a mérési eredményeket.



6. Ábra Jelerősség 200mW adóteljesítménynél

A mérés 200mW-os adóteljesítményt beállítva készült. A méréseket teljes optikai rálátással és rálátás nélkül végeztem, a grafikonról látható, hogy ahol nem volt rálátás, kezdettől fogva kisebb jelerősség volt mérhető. A jelerősség -85dBm esetén már nem volt megfelelő a videójel továbbítására, ez optikai rálátás nélkül 115m-es távolságban lépett fel. Optikai rálátással bőven 115m fölött lehet még megfelelően erős jelet kapni.

Jelentős probléma a videójel továbbító egység melege, ami már 200mW-os adóteljesítménynél is jelentős mértékű. 800mW esetén a videó adó áramköri lapja pillanatok alatt 70°C fölé melegszik. A nagy melegedés hosszútávon károsíthatja a kimeneti erősítőket, ami az egység tönkremeneteléhez vezethet, továbbá a melegedő alkatrészek a videójel minőségének romlását is okozhatják. Menet közben a propellerek szele hűti a NYÁK felületét ha az megfelelő helyen van rögzítve, azonban 800mW adóteljesítmény mellett főleg nyári napokon nem elegendő. A videó adóra a további mérések során nagy felületű hűtőborda kerül felhelyezésre.

4. SPECIÁLIS FELSZERELÉSEK

Az általam fejlesztett robotrepülőgép több, a mindennapi általános használatban lévő quadrokopterekhez képest speciális felszerelést is tartalmaz.

4.1 Hőkamera

A hőkamera 619 034 Ft-os árával a berendezés legdrágább eleme, így az üzembiztonság a repülő szerkezettel szemben támasztott elsődleges követelmény. A VUE 336 típusú hőkamera a Flir cég által kimondottan repülőgépes alkalmazásokhoz fejlesztett kisméretű, aktív hűtés nélküli kamerája. A kamera 5V-os tápfeszültséget igényel és választható formátumban NTSC,

illetve PAL videójelet képes szolgáltatni, amit egy RCA csatlakozón keresztül lehet a videó adóhoz csatlakoztatni. A hőkamera a 7. ábrán látható.



7. ábra Flir VUE 336 [1]

A hőkamera kategóriájának legkisebb tagja, nem képes hőmérsékleti méréseket végezni, csupán hőképet biztosítani.

Tulajdonságai [1]:

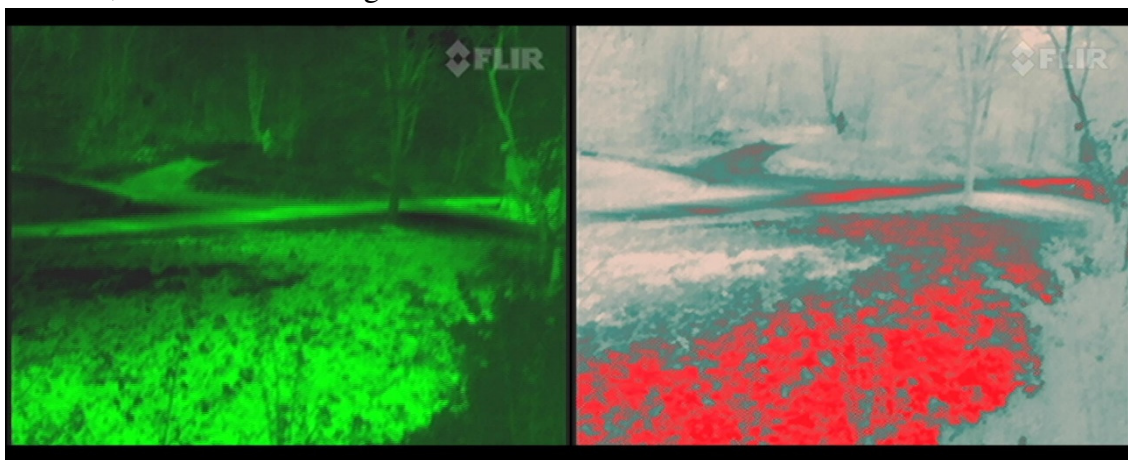
- 336x256 pixel felbontás
- 7 FPS videósebesség
- 100g-os tömeg
- 7,5-13,5µm-es hullámhossztartomány
- NTSC, PAL videóformátum
- USB-n keresztüli táplálás.

A hőkamerához ingyenesen letölthető egy számítógépes konfiguráló program, ahol a videó szabvány megadása mellett a hőkép színpalettáját is lehetséges változtatni.



8. Ábra Hőkép 40 és 15 méteres távolságnál

A 8. ábrán látható a kamera hőképe ha a megfigyelt személy 40 illetve 15 méter távolságban található. A 9. ábra mutatja ugyanazt a személyt, de két különböző színpalettát kiválasztva, 60 méteres távolságban.

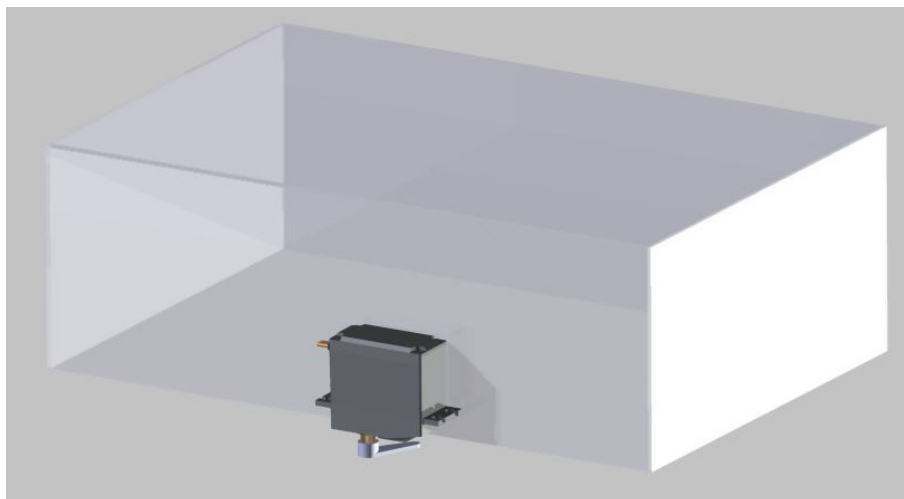


9. ábra Két különböző megjelenítési mód

A tesztelések során megállapítottam, hogy bizonyos fényviszonyok között egy adott paletta használata jobb minőségű képet mutathat. A megfigyelések alapján kijelenthető, hogy a kamerával terepviszonyoktól függően 100m-es távolságig lehetséges észrevenni egy embert. A hőkamera elsődlegesen az éjjeli kutatást segíti, nappal hagyományos kamerával is lehetséges nagy távolságban is megtalálni a keresett személyt (vagy személyeket), de a hőkamera nappal is nyújthat támogatást a kezelőnek.

4.2. Szállítódoboz

A fejlesztés során terveztem egy szállítódobozt, amit úgy méreteztem, hogy abba beférjen egy szabványos, B kategóriás elsősegély doboz, abban ugyanis viszonylag sok felszerelés található és tömege is elég kicsi ahhoz, hogy egy közepes méretű repülővel levegőben szállítani lehessen. A doboz 3D-s rajza látható a 10. ábrán.



10. ábra Szállítódoboz

Könnyű tömege miatt a szállítódoboz anyagának 1mm vastagságú plexit választottam. A doboz oldallapjai lézervágással fognak elkészülni. A doboz tartalmának rögzítését és kioldását egy csapóajtó biztosítja, amit egy modellezésben használatos szervómotor

működtet. A motor a repülésvezérlőről vagy közvetlenül a távirányítóról is vezérelhető, így annak használata a legegyszerűbb megoldás erre a feladatra.

5. FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A projekt folyamatos fejlesztés alatt áll, így a továbbfejlesztési lehetőségek körvonalazódása folyamatos. A továbbiakban tervben van egy olyan, kisméretű repülő szerkezet megépítése, ami csak egy hagyományos kamerát, esetleg egy hőkamerát képes hordozni és olyan méretű, hogy képes legyen berepülni egy épület ablakán, bent feltérképezve az épület belsejét. Ennek a megoldásnak a vezeték nélküli kommunikációs rendszerek jelerőssége kritikus, ugyanis egy épület belseje felé haladva rohamosan csökken a jelerősség.

A hatótávolság kiterjesztését is szem előtt tartom a további fejlesztések során más karakterisztikájú antennákkal való mérések elvégzésének formájában. A kommunikáció hatótávolságának növelése mellett az akkumulátor kapacitásától és a szerkezet össztömegétől függő maximum repülési időt is lehetséges növelni könnyítések, különböző anyagok használatával, a fejlesztés során erre is nagy figyelmet fogok fektetni.

A továbbiakban szeretném autonóm funkciókkal is felruházni a repülő szerkezetet, ezáltal bizonyos irányítási feladatok alól mentesíteni a pilótát, így neki elég lenne csak a kamerák képét figyelni.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fejlesztés anyagi forrásai az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő és az Emberi Erőforrások Minisztériuma által szervezett Nemzeti Tehetség Programjának keretében megpályázott NTP-NFTÖ-16 azonosítójú, a Nemzet Fiatal Tehetségeinek támogatására nevű pályázaton elnyert támogatási összegéből származnak.

7. IRODALOMJEGYZÉK

[1] **FlirSystems**, www.flir.eu.

[2] **K. AEROSPACE**: *History Of Quadcopters And Other Multirotors*, 2016.

[3] **PARROT**, www.parrot.com.

[4] **T. B. SHEEP**, www.team-blacksheep.com

UTÁNPÓTLÓDÁSI VIZSGÁLATOK AZ ALFÖLDÖN

GROUNDWATER RECHARGE STUDIES ON THE GREAT HUNGARIAN PLAIN

KOMPÁR László¹, SZÚCS Péter², PALCSU László³, DEÁK József⁴

¹doktorjelölt, kompar.laszlo@gmail.com

Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
tudományos segédmunkatárs

MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport
tudományos munkatárs

ISOTOPTECH Nukleáris Technológiai és Szolgáltató Zrt.

²DSc, intézeti tanszékvezető egyetemi tanár, hgszucs@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
kutatócsoportvezető

MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

³PhD, laboratóriumvezető, palcsu.laszlo@atomki.mta.hu

MTA Atommagkutató Intézet, Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium

⁴PhD, ügyvezető, deak47jozsef@gmail.com

GWIS Környezetvédelmi és Víztisztasági Kft.

Kivonat: Alföldi izotóphidrogeológiai vizsgálataink során számos magyarországi területen meghatároztuk a csapadékból történő utánpótlódás mértékét. Tríciumra és nemesgázokra mintáztunk több szinten szűrőzött talajvizet kutakat, amelyeknél az 1963-as trícium-csúcs mélységbeli helyzetének vizsgálatával és a trícium/hélium-3 vízkor meghatározásával számítottuk a mintázott felszín alatti vizek beszivárgásának idejét. A trícium-csúcs módszerrel Ménteleken, Fischerbócsán és Nyíradonyban rendre 48-62-27 mm/év, míg a trícium/hélium-3 vízkorok alapján 48-63-22 mm/év beszivárgási mértékeket számítottunk. Ezen értékek alapján elmondható, hogy a csapadék 9, 11 és 4%-a felelős a felszín alatti vizek utánpótlódásában ezen homoktalajok esetén. A nemesgáz-tömegspektrometria és a transzportmodellezés együttes alkalmazása nagymértékben pontosítja a vízföldtani kutatásokban elért eddigi hazai eredményeket.

Kulcsszavak: beszivárgás, izotóphidrogeológia, transzportmodellezés, kormeghatározás, Alföld

Abstract: Natural groundwater recharge rates were investigated on some Hungarian sites. Multilevel shallow wells were sampled for tritium and noble gases. During our researches the date of the infiltration were determined use of the tritium peak method and the tritium/helium-3 age dating technique. Recharge rates with 48-62-27 mm/a were calculated based on the tritium-peak method in Méntelek, Fischerbócsa and Nyíradony, respectively. On the same sites the tritium/helium-3 age dating gave 48-63-22 mm/a recharge rates. Based on these results 9, 11 and 4% of the precipitation infiltrated on sandy soils in Méntelek, Fischerbócsa and Nyíradony. The common usage of the noble gas mass spectrometry and the transport modeling is able to clarify the previous hydrogeological results in Hungary.

Keywords: groundwater recharge, isotope hydrogeology, transport modeling, age dating, Great Hungarian Plain

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A 2000. december 22-től hatályos EU Víz Keretirányelv (VKI) egy olyan egységes vízvédelmi politika, amely állam- és országhatárokon is átnyúlva a vízgyűjtőkön való koordinált vízgazdálkodás megvalósulását segíti elő, emellett pedig hozzájárul a vízvédelem harmonizálásához, a vizek terhelésének csökkentéséhez is. A vízkészletek fenntartható

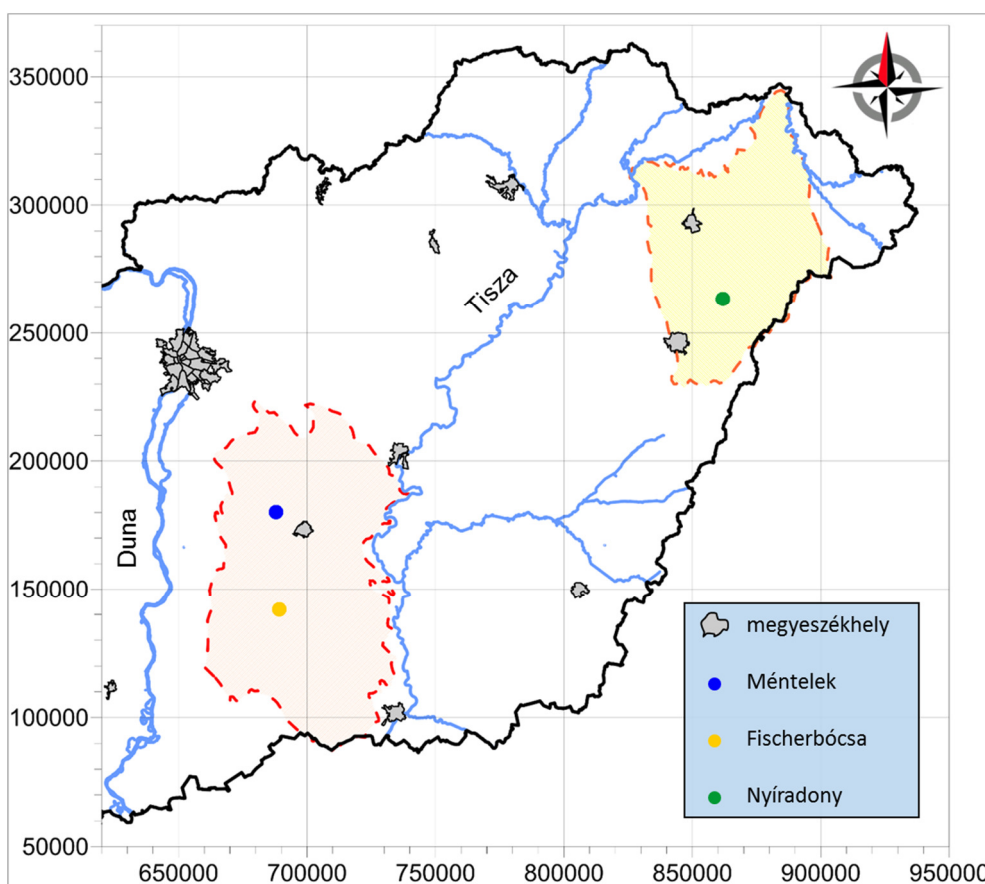
használatának elősegítését, a felszín alatti vizek szennyezés-terhelésének csökkentését, továbbá az áradások és aszályok hatásainak mérséklését kiemelt téma-területekként említi. 2016-ban elfogadásra került a felülvizsgált Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT2), amelynek végrehajtása elkezdődött.

A VKI előírása szerinti Vízyűjtő-gazdálkodási Terv felülvizsgálatához szorosan kapcsolódik a formálódó Kvassay Jenő Terv (KJT), amely vitaanyagában is egyértelműen megjelenik a felszín alatti víz, annak utánpótlódásának kérdésköre. A hazai és EU-s szabályozásra, a már elkészített egyéb stratégiákra, tervekre és programokra épülő KJT célja a magyarországi vízgazdálkodási viszonyrendszer feltárása, továbbá a szükséges intézkedések megfogalmazása. A vitaanyag szerint a felszín alatti vizek csökkenő mértékű utánpótlódásának hatására hosszútávon azok szintjének regionális süllyedése várható, többek között a Duna-Tisza közti Homokhátságon és a Nyírségben.

Munkánk során a felszín alatti vizek utánpótlódásának meghatározását tűztük ki célul. Vizsgálatainkhoz környezeti izotópokat használtunk (trícium (^3H), hélium-3 (^3He)), egyfajta nyomjelzőként alkalmazva azokat a transzportmodellezés kapcsán.

2. A KUTATÁSI TERÜLETEK BEMUTATÁSA

A Duna-Tisza köze, ezen belül is a Homokhátság, mint hazánk egyik különleges vízháztartású területe kiemelt figyelmet érdemel a felszín alatti vízkészletek monitorozása és az eredmények értelmezése szempontjából, ugyanez vonatkozik az Alföld másik meghatározó jelentőségű beszivárogató területére, a Nyírségre is. A vizsgálatainkba bevont kútcsoportok elhelyezkedését az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra A kutatási területek elhelyezkedése

A ménteleki kútfészek „Komlósi Imre talajvízkutató állomás” néven ismertté vált területen helyezkedik el. 1998-1999-ben osztrák-magyar együttműködés keretében nyomjelzéses beszivárgási vizsgálatokat végeztek, többszintes talajvíz-figyelő kútfészket létesítettek a beszivárgás természetes nyomjelzők profilfelvétele alapján történő becslésére.

A fischerbócsai kútfészek létesítésére a méntelekihez hasonlóan 1998-ban került sor, szintén több szinten szűrőzött kutakkal alakították ki (^3H -profil felvétele a méntelekihez hasonlóan itt is megtörtént). A kútfészket szántók közelében, akkoriban még érintetlen környezetben alakították ki. A 2000-es évek elején egy erdősítési program keretében a kútfészek közelében is létesítettek egy fenyő ültetvényt, de a kútcsoport megfelelően vizsgálható a mai napig is. A ménteleki és a fischerbócsai kútcsoportok egyaránt 4-4 kúttal kerültek kialakításra, legmélyebben lévő szűrőközepük rendre -22,1 és -23,0 m találhatóak 2 m-es szűrőhosszakkal. A Miskolci Egyetem KÚTFŐ Projektjének egyik (korábbi kutatási tapasztalatok alapján) célkitűzése volt egy 10 kútból álló speciális, izotóphidrogeológiai vizsgálatokra alkalmas kútcsoport létesítése. A választás a Duna-Tisza közti kutak alapján adódott Magyarország másik meghatározó regionális porózus beszivárgási területére, a Nyírségre, ezen belül is a tápterület centrumában elhelyezkedő Nyíradonyra. A nyíradonyi kútcsoport egy parlagon hagyott területen került kialakításra a 471. sz. út mellett Nyíradony és Aradványpusztá között. A kialakított kútcsoport legmélyebb kútja 15 m-es mélységet szűrőz be, minden kút esetében 0,5 m-es szűrőhosszakkal.

3. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

3.1. A ^3H -csúcs módszer és a $^3\text{H}/^3\text{He}$ vízkor-meghatározás alapjai

A ^3H természetes és mesterséges úton is keletkezik. A természetes úton keletkező ^3H legnagyobb része, kb. 2/3-a a sztratoszférában (10-25 km magasságban) kozmikus sugárzás hatására, míg kb. 1/3 része a troposzférában keletkezik, az egyéb természetes úton keletkező ^3H mennyisége elhanyagolható. A kozmikus sugárzás következtében szekunder neutronok jönnek létre, amelyek a légkört „bombázva” reakcióba lépnek a levegőben található nitrogénnel

Mesterséges úton keletkezett ^3H elsőként 1945-ben került a környezetünkbe, az első atombomba robbantások alkalmával. Ezekből csak viszonylag csekély mennyiségű ^3H került a Föld légkörébe, majd az 1952-től, az első termonukleáris magfúzió alapuló hidrogénbomba felrobbantásával kezdve környezetünk ^3H -koncentrációja nagyságrendekkel változott [1].

Az 1963-ban bevezetett részleges atomcsend egyezmény hatására megszűntek a légköri atomrobbantások, így a csapadék ^3H koncentrációja folyamatosan csökkent. Ez a csökkenés az első évtizedben (1963-1973) 1,2 év felezési idővel történt, amely a ^3H levegőből történő kiürülési sebességét mutatja, manapság 10-12 TU az átlagos háttér koncentráció. Az utóbbi évek stagnáló értékei jelzik, hogy a csapadékban beállt egy új, kissé magasabb ^3H koncentráció, amely nagyrészt az ipari eredetű ^3H -kibocsátásnak köszönhető. Az alkalmazott ^3H -csúcs módszernél az 1963. évi maximum érték mélységbeli helyzetét keressük, amelyre a beszivárgási számításainkat elvégeztük.

A ^3H β bomlás során egy antineutrínó mellett hélium-izotóppá (^3He) alakul át:



ahol:

ν – antineutrínó.

Amíg a ^3H koncentrációja exponenciálisan csökken, addig a leányelemének koncentrációja ugyanazon függvény szerint folyamatosan növekszik [2].

A vízben oldott ^3H -ból származó ^3He ($^3\text{He}_{\text{trit}}$) mérésével meg tudjuk becsülni a beszivárgáskori ^3H koncentrációt, amennyiben a vizsgálati rendszert zártnak tekintjük, abból nem „szökik el” He. Ebben az esetben a kezdeti ^3H koncentrációt a jelenleg mért ^3H koncentrációjának és a $^3\text{He}_{\text{trit}}$ járulékának az összege fogja adni ($^3\text{H} + ^3\text{He}_{\text{trit}}$). A $^3\text{He}_{\text{trit}}$ meghatározásához meg kell mérni a vízben oldott He mennyiségét és a $^3\text{He}/^4\text{He}$ izotóparányt. A víz $^3\text{H}/^3\text{He}$ korát a következő összefüggés alapján számítjuk [3, 4]:

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \left[1 + \frac{^3\text{He}_{\text{trit}}}{^3\text{H}} \right], \quad (2)$$

ahol:

τ – a víz $^3\text{H}/^3\text{He}$ kora;

$T_{1/2}$ – a ^3H felezési ideje;

$^3\text{He}_{\text{trit}}$ – a ^3H bomlásából származó ^3He mennyisége.

3.2. A transzportmodellezés alapjai

A telített zónabeli hidrodinamikai számításokra a Processing MODFLOW Pro programcsomagban lévő MODFLOW-t használtuk, míg az anyagtranszport folyamatok lekövetésére a programcsomagba épített és a MODFLOW-hoz fejlesztett anyagtranszport modellező programot használtuk, amellyel többfajta módszer alkalmazására van lehetőség (véges differencia módszer, karakterisztika módszerének több változata). Alkalmazása során lehetőség van továbbá az advekciónak, diszperzió, lineáris és nem lineáris adszorpció, valamint a biológiai és radioaktív bomlások figyelembe vételére is. A munkánk során épített modellek során alapfeltevés volt a függőleges vízszivárgás, oldalsó el- és hozzáfolyással nem számoltunk, azok elenyészően kis mértéke miatt. A telített közegbeli szivárgások modellezésének input paraméterei voltak az egyes kútszopások vízföldtani naplói alapján felvett szivárgási tényező és effektív porozitás értékek, az anyagtranszport számításoknál pedig a ^3H -ot, mint nyomjelzőt használtuk annak bomlási állandójával és adott közegbeli advekciónak és diszperziós tulajdonságainak definiálásával. A transzportmodellek során a bécsi csapadék ^3H idősorából magyarországi bormintákon keresztül interpretált ^3H koncentrációkat adtuk meg bemenő anyagáramként [5].

4. A KUTATÁSI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

4.1. A ménteleki kútszopornál végzett vizsgálatok eredményei

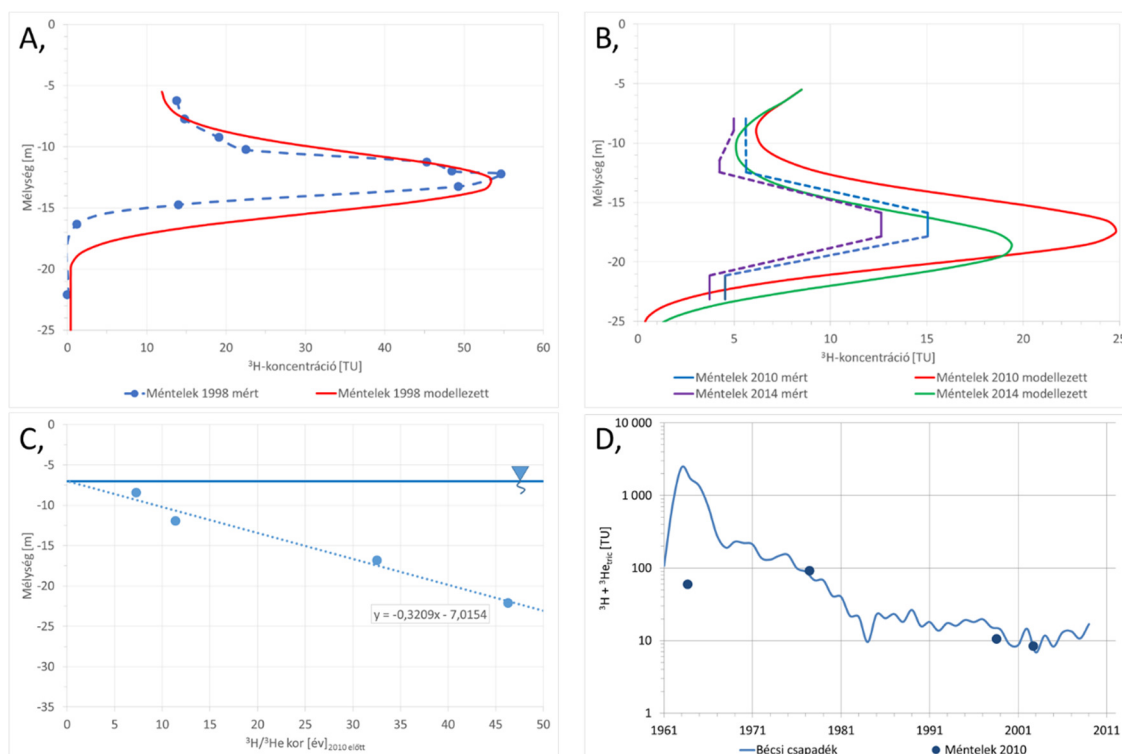
Vizsgálataink során a cél az 1963-as bombacsúcs mélységbeli helyzetének meghatározása, a ^3H -koncentráció maximuma jelzi az akkoriban lehullott csapadékot. A 2/A, ábrán kék színnel az 1998-ban megvett minták ^3H -koncentrációit, míg piros színnel a terepi és laboratóriumi vizsgálataink alapján elkészített, a kútfészek környezetének hidrodinamikai és transzport modellje által számoltakat ábrázoltuk. A modellezés során alapfeltevés volt, hogy a kútfészek közvetlen környezetében a függőleges szivárgás a domináns, oldalsó el- és hozzáfolyással nem kell számolni annak elenyészően kis mértéke miatt. A permanens hidrodinamikai modell

elkészítésénél talajmechanikai vizsgálataink eredményeire támaszkodtunk, a mért szivárgási tényező és porozitás értékek voltak a modellek szivárgáshidraulikai alapjai. Az transzportmodell építése során a ^3H -ot, mint környezeti nyomjelzőt definiáltuk a bécsi csapadék ^3H koncentrációinak éves átlagos értékeivel. Az illesztett modellszámítások eredményén jól látszik, hogy a modell kalibrálásával visszakaptuk a várt és az 1998-as mérési pontok által jelölt 1963-as bombacsúcsot.

A kútfészek 2010. és 2014. évi mintázása során a mért és modellezett ^3H -koncentrációkat 2/B, ábra mutatja, ahol kék színnel a 2010-es mért, piros színnel a 2010-es modellezett, lila színnel a 2014-es mért, végül zöld színnel a 2014-es modellezett profil látható. Az idő előrehaladásával a ^3H koncentrációja β -bomlás során nagyjából a felére csökkent, a modellezés során 48 mm/év átlagos beszivárgást számítottunk.

A ^3H -on kívül nemesgázvizsgálatokra is vettünk vízmintákat. A felezési idő alatt elbomlott ^3H szükségszerűen ^3He formájában mutatkozik, amely alkalmas eszköze vizek korának meghatározására, helyesebben annak az időnek a meghatározására, amely a csapadékvíz talajvizet történő elérésének és a mintázás ideje között eltelt. A nemesgázmérések eredményeiből számított vízkorok mélységbeli eloszlását a 2/C, ábrán mutatjuk be (nemesgázokra történő mintázásra csak a 2010-ben került sor). Ideális esetben, amennyiben a csapadékvíz szivárgása legnagyobb mértékben csupán függőleges, azt várjuk, hogy a vízkorokra illesztett egyenes a mindenkor nyugalmi talajvízszintnél fogja a legfiatalabb vizet mutatni. Esetünkben ez a várakozás helyes és eredményes volt, hiszen megközelítőleg 0 évesnek lehet datálni a talajvíztükör korát. A vízkorokra illesztett lineáris trendvonal meredekségéből és a mért 0,15 effektív porozitással számolva az utánpótlódás mértéke hasonlóan a ^3H -csúcs módszer alkalmazása során kapott eredményhez 48 mm/év.

A 2/D, ábrán a ^3H és a $^3\text{He}_{\text{trit}}$ -koncentrációinak összegét szemléltetjük a csapadék-idősorra illesztve, és amelyből kitűnik, hogy mindegyik reális, értelmezhető eredményt ad. A további kutatási területek modellezési eljárásai megegyeznek ezen ménteleki modell koncepciójával, az egyes földtani és vízföldtani paraméterek értelemszerű különbözőségeivel.



2. ábra A ménteleki kútcsoportnál mért és modellezett ^3H -koncentrációk (A-B),

a számított $^3\text{H}/^3\text{He}$ vízkorok (C), és azok a bécsi csapadék idősoron történő elhelyezése (D)

4.2. A fischerbócsai kútcsoporthoz végzett vizsgálatok eredményei

A fischerbócsai kútfészkek 1998-as kialakítás során szintén több mélységből megvett talajminták alapján mért ^3H -koncentrációk és a felvett ^3H -mélység profil volt vizsgálataink alapja (3/A, *ábra*). A 2014. évi mért ^3H -koncentrációkat a 3/B, *ábrán* kék színnel szemléltetjük, míg piros színnel a modellezés során felvett profilt.

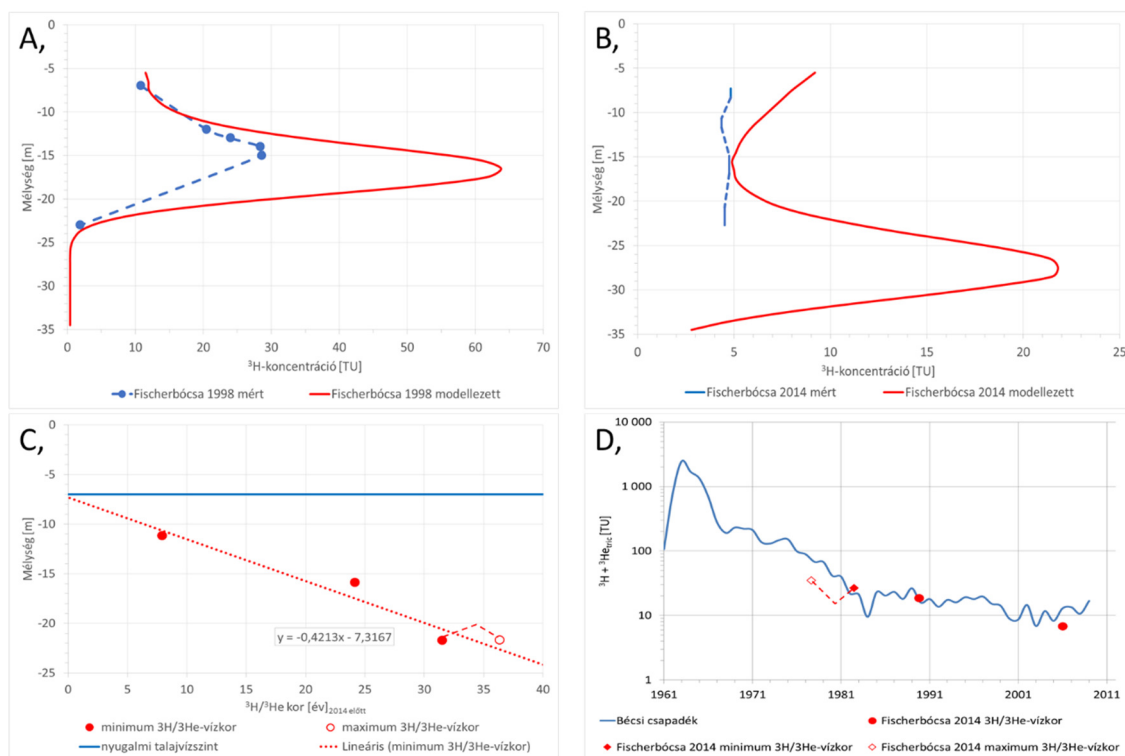
A 4-5. mintázási pontok első ránézésre egy bombacsúcs közeli helyzetet jelezhetnek, ám a modelleredmények egy magasabb, de a várttal egyező értéket adnak. A ménteleki profil alapján látható, hogy az 1963-as csapadék (és a vele együtt „beszivárgott” ^3H) 1998-ra közel 55 TU értékű ^3H -koncentrációval van jelen a talaj felszíne alatt 12,5 m-rel.

Szembevetve, hogy a mért értékek egy kivételével rendre kisebbek a vártnál és a modellezettnél, kvázi minden ^3H -koncentráció megegyezik, mintha azonos korú vízeke lenne szó. Már a $^3\text{He}/^4\text{He}$ is mutatta, hogy ez nem így van, azaz jelen esetben csupán a ^3H nem elég a beszivárgás vizsgálatára. A szivárgási sebesség alapján tehát várható, hogy az 1963-as bombacsúcs mélyebben van, a legmélyebb kúttal is kiesik a „látótérből”. A modellszámítások alapján viszont megállapítható, hogy az akkoriban beszivárgott csapadékvíz 27-28 m-rel a talajfelszín alatt helyezkedik el, az évi átlagos beszivárgás mértéke 62 mm/év.

Figyelemreméltó azonban az 1998-as és a 2014-es vizsgálatok eredményei közti különbség, amely 16 év alatt átlagosan 94 mm/év a beszivárgás mértéke. A függőleges szivárgási sebesség növekedése során több kérdés is megfogalmazódhat az okokat keresve, ha csak arra gondolunk, hogy az egyre szélsőségesebbé váló időjárási viszonyok hatásaként a talajvízszintek csökkenése várható.

Annak érdekében, hogy meggyőződhessünk a beszivárgás mértékének helyességéről és a ^3H -koncentrációk valódiságáról, szintén támogatást nyújtanak a vízben oldott nemesgázok koncentrációi. A mintázásnál azonban a ^3H -tól eltérően csupán a három legmélyebb kút volt mintázható, így $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok is csak ezen kutaknál váltak meghatározhatóvá (a legmélyebbnél azonban csupán minimum és maximum $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok) (3/C, *ábra*).

Ezek közül is a két sekélyebb kútnál egyértelmű vízkorok adódtak, a mélyebb kút esetében mért koncentrációkból viszont az látszik, hogy „elveszett” valamennyi oldott gáz, tehát feltételezhetően valamennyi $^3\text{He}_{\text{trit}}$ is, ebben az esetben (mivel nem lehetünk biztosak abban, hogy a $^3\text{He}_{\text{trit}}$ mennyi része tűnt el) csupán minimum és maximum vízkort lehetett számítani. Az eltérő vízkorok közül a valószínűnek vélt meghatározásához a 3/D, *ábrán* mutatjuk be a ^3H és a $^3\text{He}_{\text{trit}}$ koncentrációk összegét. Látható, hogy a két sekélyebb kútra számított eredmény jól illeszkedik a bécsi csapadék-idősorra, így azok értelmezhetőek, míg a legmélyebbnél számított vízkorok alapján (és a bombacsúcs mélységbeli helyzete alapján számított szivárgási sebességgel) a minimum vízkorhoz tartozó koncentrációk illeszkedése a leginkább elfogadható, és amely során számított átlagos beszivárgás mértéke a 0,15 effektív porozitással számolva 63 mm/év.



3. ábra A fischerbócsai kútsoporthnál mért és modellezett ^3H -koncentrációk (A-B), a számított $^3\text{H}/^3\text{He}$ vízkorok (C), és azok a bécsi csapadék idősorán történő elhelyezése (D)

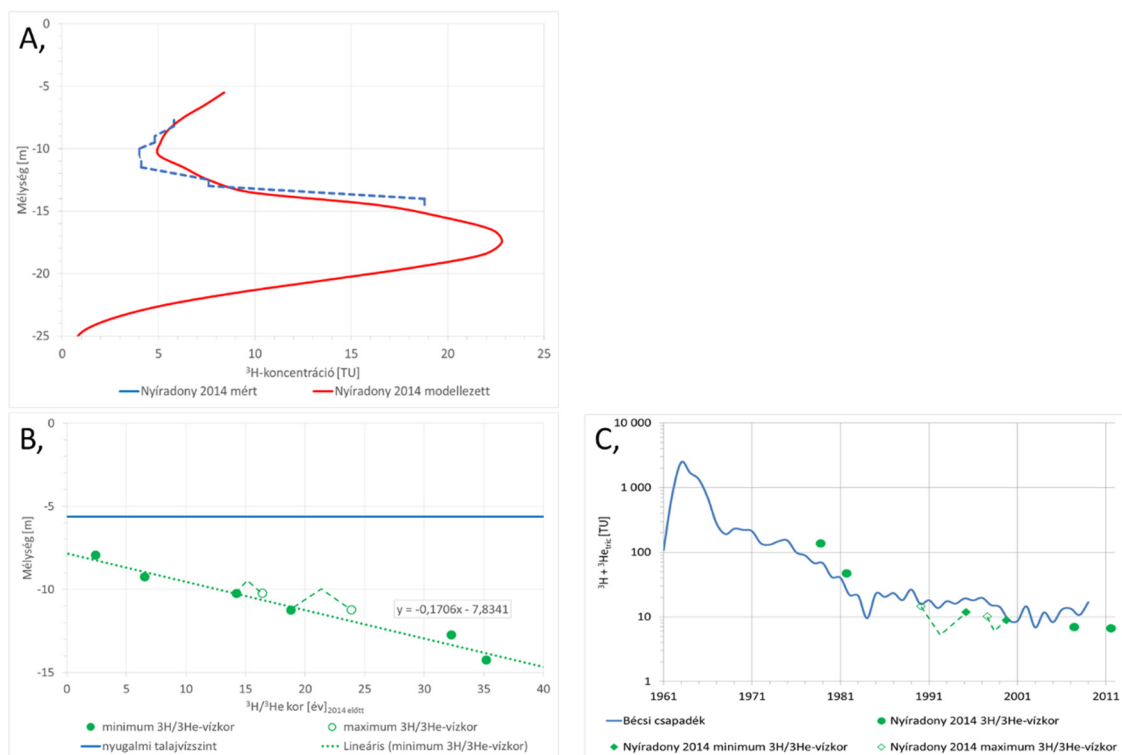
4.3. A nyíradonyi kútsoporthnál végzett vizsgálatok eredményei

2013. szeptemberében a Nyírségben, Nyíradony külterületén került sor egy speciális, izotóphidrogeológiai vizsgálatokra optimalizált szondakút-csoport kialakítására. A kútsoporth érdekessége és újdonságtartalma, hogy a lehető legkisebb, de még mintázható belső átmérővel, 0,5 m-es szűrőszakaszokkal lett kiképezve úgy, hogy mindeközben a kutakat egyetlen, folytonos csőből alakítottuk ki, elkerülve így a csőszakaszok illesztésénél és a palástcementezésnél rejlő kockázatokat. 2014. márciusában a kútsoporth mintázását ^3H -ra és nemesgázokra is elvégeztük, de csupán hat kútban: egyes kutak szárazak voltak, vagy éppen más miatt nem volt lehetőség a mintázásra.

A megvett vízminták laboratóriumi mérései után világosan látszott, hogy a legmélyebb, 15 m-es kúttal sem sikerült az 1963. évi bombacsúcsot elérni, az valamennyivel mélyebben lehet a földfelszín alatt. A kútsoporth kialakítása során elvégzett geofizikai szondázások és talajmechanikai, illetve próbaszivattyúzási vizsgálatok alapján a szimulációs tér felépítése elérhető vált, az transzport modell alapjai pedig szintén a bécsi csapadék-idősor és a ^3H transzport jellemzői voltak. A modell mért adatokra történő illesztését mutatja a 4/A, ábra. Kék színnel a mért adatokat, míg a piros színnel a modellezett értékeket jelenítettük meg. A bombacsúcs a modellszámítások alapján 17-18 m-es mélységben található, amely alapján az évi átlagos beszivárgás mértéke 27 mm.

Ennél a kútsoporthnál, ahol a fischerbócsai kútfészekhez hasonlóan a bombacsúcsot nem sikerült elérni a legmélyebb kúttal sem, ismét a $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok adhatnak segítséget a szivárgási viszonyok vizsgálatánál (4/B, ábra). A vízkorok közötti lineáris függvénykapcsolat alapján a 0,13 effektív porozitás értékkel számolva évi átlagos 22 mm beszivárgást számítottunk. A nyíradonyi kútsoporth hat vizsgált kútja közül a kettő kigázosodott vizet adott, így nem volt lehetséges egyértelmű vízkorokat megadni, szükségessé vált tehát minimum és maximum $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok meghatározása.

A 4/B, ábrán bemutatott $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok alapján jól látszik, hogy a számítottak közel egy egyenesre esnek, amely kiegyenlítő egyenes jó egyezést mutat a vártakkal, a 3-4. kutaknál a minimum $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorokat fogadjuk el, mint helyesebb vízkorokat. A vízkorok értelmezhetőségében a minták $^3\text{H}+^3\text{He}_{\text{trit}}$ -koncentrációi jelentenek segítséget, így állapítottuk meg az 5-6. kutakból vett vízminták vízkor eredményeinek elfogadhatóságát (4/C, ábra).



4. ábra A nyíradonyi kútcsoporthoz mért és modellezett ^3H -koncentrációk (A), a számított $^3\text{H}/^3\text{He}$ vízkorok (B), és azok a bécsi csapadék idősorán történő elhelyezése (C)

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GRIMES, W. R., HAMPSON, D. C., LARKIN D. J., SKOLRUD, J. O., BENJAMIN, R. W.: *An Evaluation of Retention and Disposal Options for Tritium in Fuel Reprocessing*. Report ORNL/TM-8261, Oak Ridge National Laboratory, 1982.
- [2] LUCAS, L. L., UNTERWEGER, M. P.: *Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium*. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol. 105, No. 4, 2000. pp. 541-549.
- [3] SCHLOSSER, P., STUTE, M., DÖRR, H., SONNTAG, C., MÜNNICH, K. O.: *Tritium/ ^3He dating of shallow groundwater*. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 89, Iss. 3-4, 1988. pp. 363-374.
- [4] SOLOMON, D. K., P. G. COOK: *^3H and ^3He* . In Environmental Tracers in Subsurface Hydrology, Cook and Herczeg, eds., Kluwer Academic Press, 2000. pp. 397-424.
- [5] WEN-HSING, CHIANG: *Processing Modflow PRO: A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Transport Processes*. 2006.

A KOCKÁZATMENEDZSMENT ÉS A DRÓNOK GONDOLATOK A TECHNOLOGIAI FEJLŐDÉS MARGÓJÁRA

RISK MANAGEMENT AND DRONES MARGINAL THOUGHTS ABOUT TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

KORONVÁRY Péter¹, SZEGEDI Péter²

¹ Ph.D., egyetemi docens, koronvarty.peter@uni-nke.hu
Nemzeti Közszolgálati Egyetem Közszerkezési és Közigazgatási Intézet, H-1083, Budapest, Ludovika tér 2.

² Ph.D., kiemelt főtitkár, szegedi.peter@uni-nke.hu
MH HVK Kiképzési és Oktatási Csoportfőnökség, H-1055, Budapest, Balaton út 7-11

Kivonat: Világunk egyre sokszínűbbé válik. A globalizáció nem csak időben és térben igen eltérő dolgokról közvetít folyamatosan információkat a számunkra, de a régi érdekességek mellé újakat is teremt. Az egyre növekvő információs adat- és zajáramlás egyik tényezője a számítógépes hálózatok egyre sokrétűbb alkalmazása. A vezeték nélküli kapcsolatok, a virtuális folyamatok, a vezető nélküli, észrevehetetlen eszközök kapcsolatteremtő, információtovábbító és feladat végrehajtó szerepeinek sokasága nem csak új kockázatokat támaszt, de a vezetői megoldások új eszköztárát is kínálja.

Kulcsszavak: menedzsment, jövő, információs technológia, drón, komplexitás

Abstract: Ours is a world of ever-increasing variety and divergence. Globalization brings with itself not only permanent information supply of geographically and historically distant issues but it also creates new interests and values beside influencing the old ones. One factor of the cumulative growth of noise and data is the increasing utilization of IT-based networks. Wireless networks, virtual processes, out-of-sight, unmanned vehicles providing contact, furthering information, executing tasks represent not only a new bundle of risks, but also a new tool set for managerial solutions.

Keywords: management, future, information technology, drone, complexity

1. A KOCKÁZATORIENTÁLTSAIG IGÉNYE

A 21. századra kialakult környezetünk a különbözőségek világa – egymásnak paradox módon, vagy ténylegesen ellentmondó vélemények, nézetek hoznak létre közös pontokat, vagy éppen erősítik meg sajátos jellegzetességeiket anélkül, hogy első látásra nyilvánvaló lenne, milyen hatások és szabályok mentén teszik mindezt. A legkülönbözőbb „kulturális” (ideológiai, etikai, értékalapú), vélt vagy valós érdekekre hivatkozó „politikai” indoklások sokasága által keltett információs zajban ugyan rendelkezésre állnak a meggyőződések, de úgy tűnik, ezek is inkább csak részei a kavalkádnak, semmint valódi okai, vagy magyarázatai.

A globalizáció előrehaladásával egyre szűkebbnek érzett világunkban, melyben a földrajzi, kulturális és időbeni távolságokat látszólag elmossa az egyre intenzívebb kommunikáció által megtermelt információáradat. Egy kétezer éves történet vagy egy sok ezer kilométerre ma történt esemény éppolyan súllyal tör ránk otthonunkban a tévé, a rádió és az internet segítségével, mint saját hazánk, közvetlen családunk mindennapos történései. A tudatosan vagy ösztönösen megtervezett és kivitelezett kommunikációs stratégiáknak köszönhetően az üzenetek tartalmának sokszínűsége és megjelenésük dominanciájának eltérősége alkalmas arra, hogy információéhségünket megszüntesse, cselekvésünket befolyásolja.

Mára már teljességgel elfogadottá vált, hogy afrikai gyerekek számára adakozhatunk és távoli kontinensek ételeit ehetjük. Olyan filmeket nézünk, melyek egy más, sokszor bizonyos szempontból nagyon eltérő valós vagy elképzelt múltbeli, jelenbeli, vagy jövőbeli közösség valós vagy elképzelt gondolkodását, magatartását, valós vagy vizionált történéseit jeleníti meg

a lehető legkülönbözőbb szándékú és célú, eszközrendszerű, metodikájú közvetítő csatornákon keresztül (szándékos vagy véletlen torzításokkal együtt).

Tudatunkban egyszerre van jelen az ősember és a földönkívüli, Jézus és Mohammed, Buddha és Thor, a csillagkapu lényének világa és a reneszánsz pápáké ... mindez összemosva, de elmentve, „beégetve” „okos” eszközeink tárolóin kívül magunk gondolkodásába, szűkebb vagy tágabb világunkról formált képeinkbe egyaránt. A tankönyvek tartalma, az ezotéria „jelenségei”, a „jedik” és a „sötét nagyurak” szavai és tettei, vagy a szent könyvek szövegei és a világirodalom kavalkádjából származó gondolatok egyszerre jelennek meg előttünk. Látszólag egyforma érvényességgel ... a mély (???) gondolatok és a magasröptűség (???) a közhelekkel (???) és a tömegcikkkel verbális szinten éppúgy közvetíthetnek valós és kitalált, releváns és irreleváns eseményekről, történelemről vagy lehetőségekről (sőt, lehetetlenségekről). Nem kis feladatot jelent megkülönböztetni, mi a zaj/torzítás (vagy valótlan állítás) és mi a valóság, mi az érték és mi a talmi, mi a fontos és mi nem az ... hol van tennivaló, és hol nincs. Világunknak ez a fajta széttöredezettsége és az a szükségszerűség, hogy hosszabb-rövidebb időintervallumban – akár más-más elrendezésben és összefüggésben is – megértsük és helyesen értelmezzük mindazokat az információkat, amelyek ingerületekből, érzületekből és érzelmekből keletkeznek, és amelyeket a természetes és/vagy mesterséges környezet generál többé-kevésbé meghatározott célcsoportok számára újfajta dinamikát ad és szelektivitást igényel az adatgyűjtő és – feldolgozó rendszereinktől, akár humán, akár mesterséges intelligenciával rendelkezik is.

Ebben a zárt rendszerben nincsenek eredendő, csak az általunk kijelölt és/vagy ideiglenesen elfogadott kritériumrendszerek a természettudományok által kutatottakon kívül, nincs más univerzális elvrendszer a rendszertanén kívül, hacsak magunk nem fogadunk el valamit annak, nincs értékmérő, csak amit épp érvényesnek tartunk. Van viszont sokmilliárd „alrendszer”, azaz „mi”, emberek, akik mind önálló entitások, akarnak, definiálnak, ítélik és döntenek, hatva a teljes rendszerre, azaz mindnyájunkra. Ebben az élő organizációban nincs idő unatkozni, hiszen a világ – pont emiatt az egyre fokozódó változatosság- és hatásdömping, a nem elhanyagolható állapotváltozók számának és jellemzőinek változása miatt – egyre nehezebben jósolható, félelmetes és veszélyes. [4] Legalábbis első látszatra.

Két pozitívumban talán még mindig bízhat az európai mentalitású és kultúrájú ember¹. Az egyik, hogy – megfelelő iskolázottsági háttérrel, a természet- és társadalomtudományokban elsajátított alapfokú jártasság mellett – el tudja még talán valahol választani a valódi veszélyt a virtuálistól. A másik, hogy – hasonlóan a tudásra, annak fejlődésére és fejlesztésére, no meg az új tudások egyre gyorsuló elterjedésére és legkülönbözőbb alkalmazásaira támaszkodva – az egyre kaotikusabb (egyre több és összetettebb jellemzőkkel bíró) zajjal és torzítással terhelt információ gyűjtéséhez és feldolgozásához lesz érzéke (intuíciója, kreativitása), képessége, és technológiája.

A döntések meghozatalához, a valós helyzet megismeréséhez és a kívánt jövőbeli állapot eléréséhez szükséges erőforrások kialakításához szükséges adatgyűjtésben, és -feldolgozásban egyre jelentősebb szerephez jutnak az egyre nagyobb számítási és információátviteli kapacitással rendelkező eszközök, amelyek képessége hálózatokba kapcsolva tovább fokozható.

Egyre inkább elkerülhetetlennek tűnik, hogy életünk biztonságának és komfortosságának fokozása érdekében, épphogy a saját (???) technológiájával egyre inkább szimbiózisban élő ember védelmében, a nem kívánt hatások, vagy kialakuló válságok megelőzése, kezelése és az azokat követő újjáépítés során ne számítsunk (a függőségünk folyamatos növekedésének el-

¹ A keleti kultúrák európai hordalékán felnőve esetleg a probléma látszat-jellege egyből szembetűnik – ahogy pl. a konfucianus és taoista a maga családja és közössége belső harmóniájára ügyel és rábízta a világra a többi megoldását, úgy a hindu, Krisna-hívő vagy a buddhista is a maga feladatával törődve mosolyog, amikor a dharmá és májja világa elvonná a figyelmét az olyan, valóban az őszámára fontos dolgokról, mint „az élet védelme” vagy a „törekvés” ... de mi maradunk, amilyenek vagyunk. Nekünk lehet ez a feladatunk.

ismerése mellett) pontosan ugyanazokra az eszközökre, amelyek manapság részben bizonytalanságunk okozói is: a számítógépes hálózatokra és a hozzájuk csatlakozni képes pilótanélküli, vagy robot (egyaránt automatikus és autonóm) eszközökre, rendszerekre. Úgy tűnik, nélkük egyre elképzelhetetlenebbé válik az életfontosságú folyamatok fenntartása, működtetése.

Azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy ezeknek az eszközök alkalmazásának előnyei mellett megvannak a kockázata, korlátai és hátrányai is. Hatékony alkalmazásukhoz szükséges ismerni tulajdonságaikat, működésük alapelveit, sajátosságait és korlátait [5][7].

2. LÁTHATATLAN KOCKÁZATOK, LÁTHATATLAN KOCKÁZATMENEDZSMENT?

A korszerű technológiák megteremtik a lehetőségét annak, hogy a jelenleg alkalmazott elektronikus és számítástechnikai eszközeink (pl.: szenzorok, aktuátorok és ezeket a berendezéseket hordozó eszközök, stb.) egyre kisebb energiafogyasztás mellett is növelni tudják hatékonyságukat. A döntésekhez szükséges folyamatos, megbízható és releváns ismereteket biztosító célzott adatgyűjtés és -továbbítás, valamint az adatok (függetlenül az információt hordozó mennyiségtől) biztonságos és gyors feldolgozásának fokozása érdekében hálózatba kapcsolt érzékelő-, feldolgozó-, és egyben elemzőrendszerek alkalmaznak.

Például a nanotechnológia és a hagyományos technológiák együttes alkalmazásával analízálni és gyártani tudnak olyan struktúrákat, amelyeknek, vagy legalábbis egyes részeinek a mérete 0,1 és 100 nanométer között van. Ebben a méretben létrehozott eszközök, drónok lehetőséget teremtettek molekulák manipulálására, valamint elektromos és szerves rendszerek összekapcsolására. Az így kialakított rendszerek olyan funkcionális alrendszerekből épülnek fel, amelyek képesek valamely probléma esetén (ön)diagnosztizálás után a meghibásodott részek működését kiváltani, esetlegesen kijavítani, illetve az általuk felügyelt rendszer állapotát monitorozni, működését bizonyos keretek között stabilizálni, fenntartani (beleértve a humán rendszert is). [3] [10]

Ez, vagy az ehhez hasonló hálózatok egyre inkább nem külön álló, hanem a mindennapi tárgyainkba (épületeinkbe, ruhánkba, eszközeinkbe stb.) sőt testünkbe beépülő, vagy azokkal összekapcsolódó szenzorokat/aktuátorokat is tartalmaznak. Megtalálhatók a funkcionálisan és az univerzálisan alkalmazható típusaik is, elemei lehetnek szerverek és egyéb híradástechnikai eszközök és azok hordozó eszközei. [6] [8] [9]

Az elemző és döntéselőkészítő szoftverrendszerektől a kutatóteamekig, az adófizetőtől a hírfogyasztóig, a nyersanyag-előállítóktól a gyártókig és forgalmazókig, valamint a szolgáltatókig számtalanféle és -fajta elem, valamint ezek szintén igen sokféle kapcsolatai és viszonyai. Számtalan szint, számtalan „szuperrendszer”, rendszer és alrendszer, szinte végtelen kapcsolódási és funkcionális lehetőséggel. Minden egyre egyszerűbb és ugyanakkor összetettebb; egyre önállóbb, ugyanakkor egyre kontrolláltabb; és egyre univerzálisabb, egyben egyre testreszabottabb. Általánosan elfogadott és egyben elvárt, hogy a mobiltelefon ne csak telefonálásra legyen használható. Például: (1) Ha arra van szükség, meg is találhatják az illetékesek (pl. orvos, rendőr, számla, kereskedő, stb.) a tulajdonost. (2) Vagy kit zavar, ha nem kerül (érzékelhetően) jelentősebb összegbe, hogy a fényképei, adatai, tevékenységeinek jegyzéke, játékeredményei, vagy levelei tkp. nem is a készüléken vannak, hanem valamely megfoghatatlan információs háló azonosíthatatlan tárhelyein? Természetesen mindaddig, amíg ezzel nem él senki magánszemély vagy intézmény vissza, vagyis addig, amíg a privátszféránkat biztonságban tudjuk az információs térben [2]. Az előzőek alapján megfogalmazódhat az, hogy hol a gép, a tulajdon, a személyiség, a felelősség/felelőtlenség határa?

Az adatbázis a „felhőben”, az eszközök használhatóságát lehetővé tevő kiegészítések (szoftverek, kódok, azonosítók stb.) is ... vagyis fogalmunk nincs, hol. Sokszor az eszközök működtetése, illetve maguk a berendezések sem hozzánk kötődnek – megfigyelőegységek, hangszórók és -felvétel, automatizált rendszerek és fedélzeti komputerok milliói működnek

nap mint nap, hogy könnyebbé, jobbá, eredményesebbé stb. tegyék az életünket. Ugye senki sem csodálkozik pl. azon, hogy a buszoknak egynémely útvonalon roppant keveset kell állniuk a pirosban? (No persze nem mindegy, melyik városban vagyunk.) [11]

Az eszközök egyre könnyebben kezelhetők (vagy éppen egyre inkább független a működésük a felhasználó-haszonélvező hozzáértésétől), esetleg éppen hogy teljesen automatikusak, (a jövőben egyre inkább autonómok) ... Néha pont ez okoz gondot, hiszen egy macska miatt beindult riasztó kikapcsolása és újraindítása is jelentős kihívást jelenthet az átlagembernek ... ki tudja, mit is kell csinálni, mi is volt a kód, ... hova is kéne telefonálni ... Az emberek szívesen hozzászoknak az automatizmusok nyújtotta kényelemhez, elvégre ki tudja megjegyezni akár csak a segélyhívó telefonszámokat is? Ha pedig a magánszférában ekkora gondot jelenthetnek az újabb és újabb eszközök, akkor micsoda nehézségekkel szembesülhetünk a hivatalos érintkezésben, vagy éppen a munkahelyen? [1][12]

Miért kellene akkor látni az eszközöket? Miért lennének akkorák és olyan szembetűnőek, hogy észrevehessük, hozzájuk érhessünk? Miért kell a működtetéshez megérintenünk bármit is? Nem kell. A technológiai fejlődés afelé (is) halad, hogy nem kell tudnunk – vagy legalábbis, ha nem érdekel, nem kell figyelembe vennünk – hogy eszközeink egyes részei szokatlan helyen vannak, vagy éppen virtualizáltak. Az írógép és billentyűzete virtuális, a szükséges energiát nem atomerőmű, hanem a tetőn, vagy éppen a járdában elhelyezett energia átalakító eszközök szolgáltatják. A világítási rendszerhez sem kell feltétlen külső forrás (vezetékek, vízerőmű a Dunán, stb.), mert „benne van”, integrálva az „okoslámpa”, „okosház”, „okosutca” designjába az az energia-átalakító/tároló berendezés, amely összegyűjti és a megfelelő formában raktározza az esti felhasználásig a fényt, a hőt, vagy ... energiát; és a tárolt erőforrások felhasználásának szabályozását biztosító egység is, amely felelős a felhasználás kontrollálásáért ... És ha fényképezőgép, ha térfigyelő kamera, ha e-könyvolvasó vagy „fénykard” lenne az az „okos” eszköz, miért ne lehetne? A gép, az eddigi *par excellence* zárt, élettelen rendszer, hirtelen maga kezd energiát, információt, tudást, ötleteket, akár még „anyagot” is a saját használatára termelni ... valahol a virtuális és a valós határán egyre függetlenebb létet vívva ki magának.[11]

Vagy ha repülőgép, drón, vagy ... az adatgyűjtés számos formájához folyamatosan vagy legalábbis hosszú ideig levegőben, vízben, vagy éppen szárazföldön, de extrém körülmények között is működni képes, saját energiatermelő és -ellátó rendszerrel felszerelt, önálló, embertől független eszközök is kellene. [3] [6] [12] Láthatatlan pórásaik bár összekötik őket az adattároló és „feldolgozó központokkal, akár a világűrben, akár a sztratoszférában, akár az óceánok mélyén legyenek is, de ha nem szembesítik velük közvetlenül az átlagembert, nem veszünk tudomást létezésükről. Pedig egyre elengedhetlenebbek lesznek. Ezekkel az ember nélkül is üzemelő, esetenként akár bizonyos döntési, problémamegoldási feladatokat is ellátó rendszerekről legfeljebb a gyerek- és felnőtt játékok között felbukkanó drónok, a hírek közé elrejtett visszaélések és illegális cselekmények, vagy éppen az iraki, esetleg afgán vagy szíriai helyszíneken játszó „izgalmas-katonás” filmsorozatok miatt értesülünk, ha az internet és a keresőprogramok nem hozzák elénk őket. Ha viszont mégis, meglepő dolgokkal szembesülhetünk.

3. KONKLÚZIÓK HELYETT

A dróntechnológia és a tudományos kutatások (pl.: biotechnológiai, mechatronikai, stb.) eredményeként létrejövő eszközök fejlődése számos területen átalakíthatja a gondolkodásunkat. A közlekedés és a kommunikáció terén, az automatikus/autonóm légi teherszállítástól az önálló légiharcot vívó repülőkhöz, az űrkutatás felderítőeszközeitől a katonai hírszerzésig és elhárításig, a közlekedésirányítástól és bűnüldözéstől a mezőgazdaságig és régészetig, a gátak ellenőrzésétől és a speciális tűzoltási feladatoktól a sürgősségi egészségügyi ellátásig és az

ideiglenes kommunikációs lehetőségek megteremtéséig mindenhol van vagy lehet szerepe. Használható jó és rossz ügyek érdekében egyaránt, mint minden eszköz, minden technológia – éppen ezért tudatosan készülni illene arra, hogy gyorsan és meghatározóan alakítsa – sőt, átalakítsa, valós és virtuális eszközökkel eddig elképzelhetetlen mélységekben és magasságokban tágítsa – a mi egyre kisebb világunkat.

Kutatók sora, köztük a Nemzeti Közszolgálati Egyetem számos oktatója is figyelemmel kíséri a drónok műszaki fejlődésének és alkalmazásainak alakulását a katonai-műszaki területek szempontjából éppúgy, mint az információs technológiai, az e-önkormányzati, az urbanisztikai, a katasztrófavédelmi vagy éppen a vezetéstudományi vonatkozásai miatt. Szerény eszközeinkkel kollégáink, hallgatóink és mi magunk is érdeklődve figyeljük a tendenciákat. Ha a távirányított (RC – *remote control*) vagy éppen részben/egészben előreprogramozott, fedélzeti robotpilótával, (automatikus mozgásszabályozó rendszerrel) ellátott légi, szárazföldi és vízi szerkezetek műszaki fejlődését áttekintjük, a független mozgás és a független feladatmegoldás (autonómia) mellett a miniatürizáció, a független energiaellátás és a modularításra alapuló multifunkcionalitás fejlesztése már a köztudatba is átkerült. Az interneten is elérhető egységek műszaki leírása szerint is „hétköznapi” jellemzők közé sorolható. A *science fiction* világa azonban figyelmeztet arra, hogy ez a sor illeszkedik a műfajt jellemző ötletek egy olyan sorába, ahol már a nano-szintű miniatürizáció (10^{-9} m), a (szinte) láthatatlan elemekből „maguktól” összeálló komplex rendszerek, az egyszerű feladatvégrehajtás mellett a komplex célmeghatározó és -elérő tevékenységsorok és az önreprodukció is ott sorakozik a műszaki megvalósíthatóság határán. Hogy mindezeket a reánk váró rendszereket hogyan és mire fogjuk használni, megtisztítjuk-e a bolygónk légkörét a szennyeződésektől vagy láthatatlan, lokális burkokkal vesszük körbe vélt vagy valós ellenfeleinket, hogy megfigyelhessük őket, vagy *horribile dictu* megszabaduljunk tőlük, az emberi faj komplexitásának „leggyengébb láncszemétől” fog csupán függni, ez pedig nem az egyre intenzívebb műszaki fejlődésre való képesség, hanem egy sokkal elemibb, ugyanakkor nehezebben megfogható dolog: az etika.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ALMÁSY Gy., BELÉNYESI E., GÁSPÁR M.,** *Önkormányzati szervezetfejlesztés* Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2015., p.: 58, 135
- [2] **BUDAI B. B.,** *A közigazgatás újragondolása*, Akadémiai Kiadó, 2017. ISBN: 978 963 454 0281 p.: 97, 146
- [3] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.,** *A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2016. Miskolc, 2016. május 25. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottság, ISBN 978-963-7064-33-3 Debrecen 2016., pp. 592-601
- [4] **BUKOVICS I.,** „Gondolatok a közigazgatás tudományos megalapozásáról” in: Pro Publico Bono, 2013., 2013/2 pp. 4-27.
- [5] **GARVEY, P. R.,** *Risk Management; A Systems Engineering Perspective* (CRC Press) 2009., pp. 108-110
- [6] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.,** *Robotok alkalmazásának lehetőségei katonai műveletekben* In: Mesterházy Beáta (szerk.) XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2016., pp. 120-129.
- [7] **PRITCHARD, C. L.,** *Risk Management; Concepts and Guidance* (CRC Press) 5. kiadás 2015.
- [8] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.,** *Pilóta nélküli légijárművek - biztonság vagy fenyegetés* In: Mesterházy Beáta (szerk.) XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalma-

- zása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2016., pp. 130-141.
- [9] **W. SOUTTER**, *Nanotechnology in the Military*, 2012
<http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3028> (2016.04.08)
- [10] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.**, Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei
ECONOMICA (SZOLNOK) 2015., 4/2. szám, pp. 158-168.
- [11] **SZENDREI ZS.**, *Smart city, a jövő városa*
http://www.urb.bme.hu/segedlet/varos1/eloadasok_2014/07B_SMART%20CITY_SZENDEI%20ZSOLT_kivonat.pdf (2017.05.08)
- [12] **B. MERRILL**, *Is the Future of War Autonomous?* 2015,
<http://www.makeuseof.com/tag/future-war-autonomous/> (2016.05.08)

PÉNZÜGYI-GAZDASÁGI SZEMLELET ISKOLAI KÖRNYEZETBEN

A PERSPECTIVE ON FINANCIAL ECONOMICS IN SCHOOL ENVIRONMENT

KOVÁCS Enikő

Tanársegéd, kovacs.eniko@ajk.elte.hu
Állam- és Jogtudományi Kar, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Kivonat: Publikációmban a gyermekek pénzügyi-gazdasági szemléletre való nevelésének bemutatását tűztem ki célul, a társadalmi marketing tudományág segítségével hívásával. Témaválasztásomat az teszi indokolttá, hogy a gazdasági életben való eligazodás nehézségekbe ütközik, ezért úgy gondolom, segítségére kell lennünk a jövő generáció számára, nemcsak az információs technológia területén, hanem az egyszerű vagy akár bonyolultabb gazdasági folyamatok megértésében is.

Kulcsszavak: nevelés, pénzügy, társadalmi, marketing

Abstract: The aim of this paper is to present the children's education for financial-economic approach, with the help of social marketing discipline. The reason behind my subject choice is that dealing with daily economic issues has its difficulties, therefore in my opinion, we need to provide a helping hand for future generations, not only in the field of information technology, but also in comprehending easy or even more complex economic processes.

Keywords: education, finance, social, marketing

1. BEVEZETÉS

Dolgozatomban a gyermekek pénzügyi-gazdasági szemléletre való nevelésének bemutatását tűztem ki célul, a társadalmi marketing tudományág segítségével hívásával. Az első részben a marketing kialakulását szeretném bemutatni, ráirányítva a második részben a figyelmet a társadalmi marketing megnövekedett jelentőségére. A harmadik részben a pénzügyi-gazdasági oktatás előírásait szeretném bemutatni a NAT segítségével, majd az oktatásban való elméleti és gyakorlati megvalósítás nehézségeivel és mindemellett egyszerűségeivel szeretnék foglalkozni, majd a dolgozatom utolsó részében néhány egyszerű példát szeretnék „útravalóul” mutatni.

Témaválasztásomat az teszi indokolttá, hogy a gazdasági életben való eligazodás nehézségekbe ütközik, ezért úgy gondolom, segítségére kell lennünk a jövő generáció számára, nemcsak az információs technológia területén, hanem az egyszerű vagy akár bonyolultabb gazdasági folyamatok megértésében is.

2. MARKETING ELMÉLETI ÁTTEKINTÉSE

A marketinget kezdetben alapvető tevékenységként kezelték, amelyet a társadalom szereplői a hétköznapiakban végrehajtottak és a kutatók, ezen jelenségekhez modelleket és elméleteket gyártottak. Ebben a szakaszban a marketing, ajánlásokat tartalmazott, melyet a köz- és kormányzati szektor a túlzott marketingtevékenységek visszafogására fogalmazott meg. A második világháborút követően a marketing nézőpont menedzseri lett és úgy tekintettek erre a tevékenységre, amit a vállalat céljainak eléréséhez tudnak felhasználni. Szükségessé váltak a

modellek és elméletek, melyek segítségével a menedzserek a profitjuk optimalizálásához felhasználhatnak. Már ebben a korszakban is voltak ajánlások a társadalmi szemléletre, de mégis megragadt a menedzseri tevékenységek értékelésénél. (Andreasen, 2000.)

Wiebe javasolta először, hogy a társadalomban is ugyanolyan módon alkalmazhatóak a módszerek, mint a kereskedelemben. Ennek nyomán kezdtek el azon gondolkodni, hogy ami a kereskedelem területén a magatartás befolyásolására alkalmazható, az átültethető a nonprofit területre is. A kutatások azt igazolták, hogy minél nagyobb volt a hasonlóság a kereskedelmi marketinghez, annál sikeresebbek voltak társadalmi területeken is. (Wiebe, 1951-52)

Philip Kotler 1969-ben a marketingtudományban újabb nézetekre irányította rá a figyelmet. Úgy gondolta, hogy valójában minden szervezet végez marketingtevékenységet, még akkor is, ha ez nem tudatos. Kotler és Levy úgy gondolták, hogy újra kell értékelni, hogy kik és mik tartoznak a termék és a fogyasztó fogalmába. Azt a megállapítást tették, hogy a termék kifejezést ne szűkítsék le kizárólag a fizikai javakra, hanem a szolgáltatásokra, az emberekre, szervezetekre, ötletekre is terjesszék ki.

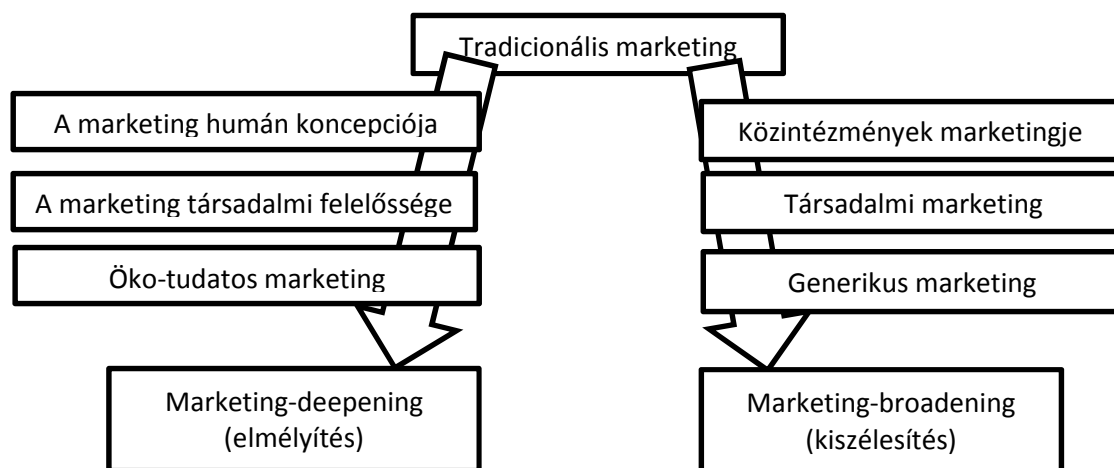
A marketingben alapvetően központi kérdés a csere, ezért joggal merült fel, hogy a szociális marketingben is alkalmazhatóak-e ugyanazon eszközök. (Kotler-Levy, 1969.)

Bauer és Berács hármas megközelítésben fogalmazta meg a marketinget, ezek a szűkebb, tágabb és kiterjesztett értelemben. Úgy gondolták, hogy kiterjesztett értelemben minden értékkel bíró jószág cseréjét jelenti. Tágabb értelemben a marketing vevőközpontú vállalati filozófia, szemléletmód. Szűkebb értelemben a marketing olyan vállalati tevékenység, amely a fogyasztók igényeinek kielégítése érdekében, elemzi a piacot, meghatározza az eladni kívánt terméket, szolgáltatást, megismerteti azokat a fogyasztókkal, kialakítja az árakat, megszervezi az értékesítést és befolyásolja a fogyasztókat.

Ebben a megfogalmazásban is érzékelhető, hogy nemcsak a kereskedelemben, hanem a nonprofit szférában is hasznosítható elméleteket találunk. (Bauer-Berács, 1998.)

3. TÁRSADALMI MARKETING

A hagyományos értelemben használt marketing kifejezés jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt évtizedekben. Egyfajta vezetési filozófiává vált, összefüggő eszközrendszeré.



1.ábra. A marketing változás irányai [4]

Az ábrán jól látható, hogy egyrészt a marketing elmélyítése történt a humán, társadalmi felelősségvállalás és a környezeti problémák feltárásával, másrészt kiszélesedett azzal, hogy új területeken is megjelent a diszciplína, a közintézmények, szociális és a szegénység kezelése formájában.

A társadalmi marketing fogalmának bevezetése Kotler és Zaltman nevéhez fűződik. Elsősorban a társadalmi, szociális megoldásokra irányuló kérdésekre helyezték a hangsúlyt és az erre vonatkozó marketing programok tervezésére. Számos szerző kiszélesítette a fogalmat, de máig az eredeti megfogalmazás az irányadó.

Kotler-Lee megfogalmazásában a társadalmi marketing:

A társadalmi marketinget olyan folyamatnak tekintjük, melyek a marketingtudományhoz kapcsolódó elveket és technikákat tartalmazza. Alkalmazásuk során értékeket hoz létre, kommunikál, közvetít, ezáltal az adott célcsoport viselkedését meg tudja változtatni, olyan formában, hogy mind a társadalom, mind a célcsoport hasznot realizál.

„A társadalmi marketing egy folyamat, marketing elvek és technikák alkalmazása, hogy értékeket hozzon létre, kommunikáljon és közvetítsen, melyekkel egy célcsoport magatartását meg tudja változtatni úgy, hogy az által a társadalom (közegészség, biztonság, környezet, közösségek) és maga a célcsoport is hasznot realizál.”(Kotler-Lee 2009. 65.o. In: Piskóti, 2012. 10. o.)

A társadalmi marketing kiindulási pontja a szervezetek, intézmények marketingstratégiájának tervezése, szervezése és lebonyolítása. Ennek ellenére számos ellenérvvel kell szembenéznie a tudománynak. Ezek között említhetjük meg, hogy a nonprofit megközelítésekkel szemben fenntartásokkal élnek, kérdésként merül fel, hogy a kereskedelmi marketing milyen mértékben fedi le a nonprofit szféra marketingtevékenységét.

A társadalmi marketing értelmezésével kapcsolatban tisztázandó néhány tény, mely szerint a társadalmi marketinget nem szabad összekeverni a társadalmi célú reklámmal, hiszen az utóbbi egy eszköze a marketingnek, míg a társadalmi marketing egy problémakezelő kampányként értelmezhető. A társadalmi marketing nem a fogyasztók manipulációján alapszik, de mindezek mellett kísérheti termékek értékesítése. A társadalmi marketing nem azonos a támogatásokkal, kedvezményekkel vagy ingyenes javak biztosításával.

Miben is különbözhet valójában a vállalkozói és a társadalmi marketing?

A vállalkozói marketing esetén egy termék vagy szolgáltatás értékesítését végzik, ezzel szemben a társadalmi marketing egy olyan folyamat, amely valamilyen viselkedésváltozást „ad el”.

A vállalkozói marketinget, a piaci, pénzügyi célok vezérlik, a társadalmi marketinget egyéni és társadalmi haszon.

Amíg a vállalkozói marketing keresletorientált, addig a társadalmi marketing az érintettség alapján hozza döntéseit a kiválasztás kapcsán.

A vállalati marketing esetén ugyanazzal a tevékenységgel vagy ugyanazon termék értékesítésével foglalkozó vállalat jelenthet konkurenciát, a társadalmi marketing vetélytársa az adott nemkívánatos tevékenység.

A különbségek mellett azonosságok is felfedezhetőek a két területen. Szükséges mindkét esetben a piackutatás, a csere megléte, az ügyfelek megfelelő kiválasztása, fontos az együttműködés és végül, de nem utolsósorban a mérhetőség, az eredményeknek egzakt módon meghatározhatóknak kell lenniük.

A társadalmi marketing megfogalmazása szerint nonprofit szervezetekre érvényes elméletet és gyakorlatot tartalmaz, valamint alapjában véve viselkedésváltozásra ösztönöz, ezért úgy gondolom, hogy fontos tartalommal bír a mai társadalmi-gazdasági helyzetben az iskolában tanuló gyermekek pénzügyi-gazdasági szemlélete. (Piskóti, 2012.) Ezért a következő részben, ennek fontosságára igyekszem rávilágítani.

4. PÉNZÜGYI-GAZDASÁGI ISMERETEK A NEMZETI ALAPTANTERVEN

A 2013. évi Nemzeti Alaptanterv (NAT) megjelenése előtt is jelen voltak bizonyos tárgyak keretében a pénzügyi ismeretek. 2007-ben a NAT kulcskompetenciái között már jelen volt a kezdeményezőképesség és vállalkozói kompetencia, illetve fejlesztési feladatként megjelent a gazdasági és pénzügyi nevelés. 2012-ben javaslatcsomagot dolgoztak ki a középiskolai tanárok számára, főbb elemei közé tartozott a gazdasági és pénzügyi ismeretek tantárgy bevezetése, oktatása, egy éven keresztül heti két órában, valamint a gazdasági és pénzügyi ismeretek összehangolása, különböző akkreditált továbbképzési programok elindítása illetve oktatási és módszertani anyagok kidolgozása, ami magában foglalja az elméleti és gyakorlati tananyagot is.

A Magyar Nemzeti Bank (MNB) Pénziránytű Alapítvány, Magyar Adományozói Fórum (MAF) munkacsoport megalakulása után az Oktatókutató és Fejlesztő Intézet (OFI) felkérésére a gazdasági és pénzügyi nevelésről szóló kerettanterv javaslatának kidolgozását kapta feladatául. Fő feladataik közé tartozott a gazdasági és pénzügyi kultúra I. és II. oktatása a 7-8. és a 9-10. évfolyam számára heti egy órában, Vállalkozzunk! I. és II. a 7-8. és a 9-10. évfolyamon heti egy órában valamint a Munkapiac a 9-10. évfolyam számára heti egy órában.

A kerettanterv kidolgozandó alapelve számos feladathoz kapcsolódik és célul tűzték ki, hogy a NAT kulcskompetenciáit teljesítsék:

- kezdeményezőképesség, vállalkozói kompetencia,
- gazdasági és pénzügyi nevelés,
- korszerű, általános műveltség,
- a meglévő programokhoz illeszkedjen (JAM, POP),
- életkori sajátosságokon alapuljon,
- gyakorlatközpontú legyen,
- időkorlátokat szabtak meg (egy tanév és heti 1 tanóra=30 óra/tanterv lehet).

A gazdasági és pénzügyi ismeretek a NAT iskolai nevelés-oktatás alapvető átfogó céljait leíró kulcskompetenciák között is megjelenik. Ezek a célok a Kezdeményezőképesség és vállalkozó kompetencia. Fejlesztési területek – nevelési célokban belül a Gazdasági és pénzügyi nevelés. Ez azért is fontos, mert a diákok az oktató-nevelő munka során nemcsak egy-két műveltségi területhez kapcsolódóan találkozhatnak ezzel a kiemelkedően fontos témával, hanem több kontextusban is megismerkedhetnek egy adott kérdéskörrel.

A NAT meghatározza a köznevelés feladatait és értékeit, melyben célként fogalmazódik meg a felnövekvő nemzedékkel szemben, hogy a haza felelős polgárává váljon, megtalálja a helyét a családban, a szűkebb és tágabb közösségekben, valamint a munka világában, képes legyen felelős döntések meghozatalára, képessé váljon az önálló tájékozódásra, véleményformálásra és cselekvésre, ismerje és értse a társadalmi folyamatokat.

A fejlesztési területek – a nevelési célokban, olyan társadalmi igények megfogalmazásával találkozhatunk, melyeknek az alábbiak szerint kell érvényesülniük a köznevelés folyamatában:

- épüljenek be az egyes műveltségi területekbe, illetve tantárgyak fejlesztési követelményeibe, tartalmaiba,
- tantárgyak részterületeivé váljanak, vagy önálló tantárgyként jelenhetnek meg az iskola helyi tantervében,
- tematizálják az alsó tagozaton a tanítói munkában, felsőbb évfolyamokon pedig az osztályfőnöki órák keretein belül a témaköröket.

A NAT fejlesztési területei közös értékeket jelenítenek meg és a célok elérése érdekében a pedagógiai folyamatban meg kell jelennie az ismeretszerzésnek, a gyakorlatba való átültetésnek.

Nevelési célként fogalmazódik meg az:

- erkölcsi nevelés
- nemzeti öntudat, hazafias nevelés,
- állampolgárságra, demokráciára nevelés,
- az önismeret és a társas kultúra fejlesztése,
- a családi életre nevelés,
- a testi és lelki egészségre nevelés,
- felelősségvállalás másokért, önkéntesség,
- fenntarthatóság, környezettudatosság,
- pályaaorientáció,
- gazdasági és pénzügyi nevelés,
- médiatudatosságra nevelés,
- a tanulás tanítása.

Úgy gondolom, hogy bármelyik nevelési célt is tekintjük, mindegyiknek jelentős szerepe van a felnövekvő nemzedék szempontjából, de témámat tekintve jelen esetben a gazdasági és pénzügyi nevelést emelném ki.

A gazdasági és pénzügyi nevelési cél magában foglalja, hogy a felnövekvő nemzedéknek olyan ismeretekkel kell rendelkeznie a világgazdaságról, a nemzetgazdaságról, a vállalkozások és a háztartások életét meghatározó gazdasági-pénzügyi intézményekről és folyamatokról, amelyek a későbbiek folyamán is hasznosítható ismeretekké válnak. Célként fogalmazódik meg, hogy a diákok ismerjék fel saját felelősségüket, mit is jelent az értékteremtő munka, a javakkal való tudatos, ésszerű gazdálkodás, a pénz világa és a fogyasztás. Fogalmazzanak meg egzakt célokat mind rövid és hosszú távra. Ismerjék az erőforrások kapcsolatát, az egyéni és a közösségi érdekek összefüggéseit. Mindehhez a köznevelési intézménynek kell biztosítani a pénzügyi ismeretekre vonatkozó alapvető szabályok elsajátítását, a banki tranzakciókkal kapcsolatos alapvető ismeretek és a fogyasztóvédelmi jogok tanítását.

A NAT által megfogalmazott kulcskompetenciák az alábbiakat tartalmazza:

- anyanyelvi kommunikáció
- idegen nyelvi kommunikáció
- matematikai kompetencia
- természettudományos és technikai kompetencia
- digitális kompetencia
- szociális és állampolgári kompetencia
- kezdeményezőképesség és vállalkozói kompetencia
- esztétikai-művészeti tudatosság és kifejezőképesség
- hatékony, önálló tanulás.

Ismét kiemelném a kezdeményezőképesség és vállalkozói kompetenciát. Ennek keretein belül meg kell ismernie a diáknak a tágabb környezetét és birtokában kell lennie azon képességgel, hogy a kínálkozó lehetőségek megragadására alkalmas legyen. Ehhez tudásra, kreativitásra, újításra és kockázatvállalásra van szükség. Céljai elérése érdekében készítsen terveket és valósítsa is meg azokat. Olyan alapot képezzenek a diák életében ezek a speciális ismeretek, készségek, magatartásformák, amikre majd a mindennapi életben, munkahelyen és a társadalomban szüksége lesz.

Az ezekhez szükséges képességek, készségek, ismeretek és attitűdök, egyrészt az ember személyes, szakmai vagy üzleti tevékenységeihez illeszthető lehetőségek, kihívások

felismerését, értelmezését, másrészt a gazdaság működésének átfogóbb megértését és a pénz világát érintő magabiztos tájékozódást biztosítják az érintett számára. A diákoknak tisztában kell lennie a vállalkozások működésével és jogi szabályozásával is. Ide tartoznak azok a képességek, mint a tervezés, szervezés, irányítás, vezetés a feladatok megosztása, delegálása, az elemzés, kommunikáció, a jó ítélőképesség, a tapasztalatok felhasználása, kockázatvállalás és felmérés, a munkavégzés egyéni és csapatban történő végzése, végül, de nem utolsó sorban az etikus magatartás. A pozitív attitűd keretein belül meg kell említenünk a függetlenséget, az alkotóképességet, az innovatív személyiséget, a motivációt a célok elérésére, az eltökéltséget mind a személyes és társadalmi életben, valamint a munkában.

A kezdeményezőképeség és vállalkozói kompetencia illetve az ehhez szükséges képességek, készségek, ismeretek és attitűdök elengedhetetlen részét képezik a fentiekben említett további kulcskompetenciák. Nem lehet egyiket sem autonómként kezelni, egymás kiegészítői és segítői.

5. PÉNZÜGYI ISMERETEK OKTATÁSA AZ ISKOLÁBAN

A pénzügyi - gazdasági jelenségek és folyamatok megismertetése a diákokkal jelentőségteljes feladatnak számít mind a pedagógus, mind a diák számára. Számos olyan feladatot, készséget és képességet ismerhet meg és sajátíthat el az iskolapadban ülő gyermek, amelyet az élet minden területén hasznosíthat. Természetesen minden esetben figyelembe kell venni az adott életkor sajátosságait és a saját nyelvezetükre lefordítva, akár játékos formában átadni számukra az ismeretanyagot. Ehhez rengeteg segítségre van szüksége a pedagógusoknak, gondolok itt az interaktív tananyagok, tantervek készítésére. A korábbiakban láthattuk, hogy a NAT tartalmaz előírásokat erre vonatkozóan, ugyanakkor a gyakorlatba való átültetése meglehetősen nehézkes lehet más tárgyak keretében. A 45 perces órakeret sok esetben még a differenciált oktatást sem teszi lehetővé, így valószínűleg a gazdasági ismeretek beágyazására sem nyílik oly mértékű lehetőség, mint amekkorára szükség lenne. Ennek függvényében még az felszínre sem került, hogy a diákok a tárgyakat önálló tananyagként kezelik, tehát a köztük lévő korreláció sem fedezhető fel számukra. Természetesen erre vonatkozóan is találunk előírást a NAT-ban, ahogy az összefüggések felismerésre is, valamint a tanulás tanítására is időt kell szánniuk a pedagógusoknak, de a tapasztalataim azt tükrözik, hogy már azt elégedetten konstatálják, ha a kötelező tananyag átadásra és jobb eset, ha az befogadó készségre és elsajátításra is talál. A NAT nyomán a 2016. szeptember 1-jén induló tanévben mintegy 251 gimnáziumban és szakképző iskolában kezdték el a 9-10. évfolyamos diákok körében tanulni az első pénzügyi-gazdasági tankönyvből az ismereteket. A Pénziránytű Alapítvány díjmentesen szervezett tanár-továbbképzési programjára augusztustól jelentkezhetek a pedagógusok. Az Alapítvány az első 40 ezer példány erejéig ingyenesen bocsájtotta rendelkezésre az Iránytű a pénzügyekhez című kötetet, mely az utolsó darabig el is fogyott. A tankönyv a hétköznapi életben is ismert, tapasztalható gyakorlati problémákat veti fel, ezzel bemutatva a mindennapi pénzügyek és a gazdaság működésének fontosabb összefüggéseit és ösztönözve a diákokat az empirikus úton megszerzett ismeretek alkalmazását és rendszerezését. A tankönyv több műveltségterület óráin alkalmazható. A rendelést leadó 251 iskola 60%-a hagyományos gimnázium volt, 40%-a szakképző intézmény. A tankönyv megjelenése ugyanakkor azt az igényt is létrehozta, hogy a nem közgazdász végzettségű oktató tanároknak továbbképzésére van szükség, ennek áthidalására 30 órás akkreditált tanfolyamot nyújtanak a tantárgyaikhoz kapcsolódóan.

Úgy gondolom, hogy ennek a továbbképzésnek a szükségszerűségét nem feltétlenül ennek a tárgynak a bevezetése tette indokolttá, mivel a teljes rendszer kiépítése csak akkor állja meg a helyét, ha a pedagógusok továbbképzésével indítunk. Sajnos, a felnőtt nemzedék és nem kivétel ez alól a pedagógus sem, sok esetben kérdésekkel felvértezve áll bizonyos problémák előtt és még a problémához vezető megfelelő utat sem találja meg. Véleményem szerint a

továbbképzéseket, már a bevezetés előtt jóval korábbi időpontban el kellett volna kezdeni és olyan megoldásokat kínálni a pénzügyi ismeretek más tárgyakba való integrálására, amely által már „próba” jelleggel bizonyos részeknél beágyazható lett volna a tananyagba. Mindemellett fórumokat, brainstorming lehetőségek biztosítását is szükségszerűnek tartanám, abban a formában, hogy a közgazdászstanárok és a nem közgazdász végzettségű szaktanárok egymással egyeztetve újabb alternatívák kidolgozásában kooperatív módon dolgozhassanak. Nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a tényt sem, hogy a meglévő tananyagba való további tartalom beágyazása plusz feladatokkal, ötletek kitalálásával, megvalósításával jár, amely megfelelő motiváció hiányában nemcsak az idősebb korosztály pedagógusai számára válik elhanyagolhatóvá, de úgy gondolom, hogy a fiatal pedagógusok sem érzik hiányát a pótlólagos „időtöltésnek”. Kezdetben a pedagógusok egymást szaktárgyainak megismerésével, a kapcsolódási pontok megtalálásával tudnának egymásnak segíteni. Egy közgazdasági szakközépiskolában például a Marketing tárgy tanítása során több angol nyelvű szakkifejezéssel is találkozhatnak, amit az angol szakos kollégával egyeztetve korábban már elsajátíthatnak és „szakszövegek” olvasásával magukénak érezhetnek. Így a Marketing tárgy már nem állna oly messze tőlük és a hétköznapiakban is ismert, hallott angol kifejezések is elnyerik tartalmi jelentésüket. De nem feltétlenül kell ennyire specifikus példával élni, gondoljunk csak bele, ha a diák elolvas esetleg egy híreket, vagy a híradóban hall gazdasági információkat, ezek értelmezésével sok esetben nemcsak a diáknak, hanem egy felnőttnek is problémái lehetnek. Mindezek kiküszöbölésére lehetnek alkalmasak ezek a szakorák és a szaktantárgyakba „becsempésztett” pénzügyi-gazdasági tartalmak. Ettől talán még inkább mindennapi problémát okozhat egy csekknek a kitöltése, vagy egy számla értelmezése. Mennyivel könnyebbé tehetjük a felnövekvő nemzedék életét, ha nem a nagybetűs életben találkozunk ezzel először és az sem vitatható el, hogy a diákokon keresztül hathatunk az ő környezetükre, szüleikre, kortársaikra. Bővíthetjük látókörüket, egy másik világnézet nyílik meg előttük és tájékozottságuk, szókincsük, rálátásuk is megváltozik a világra nézve. Ezáltal is tettünk a jövőnkért, hiszen egy olyan jövő generációja kerül ki az iskolapadból, akinek már lesz bizonyos szintű pénzügyi-gazdasági rálátása, saját élete válik egyszerűbbé és esetleg segítségére lehet a környezetében élőknek is.

Úgy gondolom, hogy ezzel a kérdéskörrel nagyobb hatékonysággal kellene foglalkoznunk, hiszen a munkavállalás területén is kérdések merülhetnek fel a jogviszonyt illetően, a rá vonatkozó törvények keresésében, ismeretében, jogaik érvényesítésében és kötelezettségeik vállalásában.

6. GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁS

A médiában számtalanszor hallgató, hogy az emberek többsége nem rendelkezik kellő ismerettel a pénzügyi-gazdasági helyzetet illetően, ezért nem tud felelős döntés hozni, nem elég előrelátó a saját életét érintő kérdésekben. Ennek oka abban rejlik valószínűleg, hogy az iskolában nem tanulnak az alapvető folyamatokról, az ok-okozati összefüggésekről. Alapvető fogalmakról ugyan tanulnak a diákok különböző tantárgyak keretein belül, de a közgazdasági összefüggésektől mentes oktatás, hiányosságokhoz vezethet.

Az elmúlt időszak világgazdasági kérdései még relevánsabb problémákat vetettek fel és felhívták a figyelmet a kérdéskör tanítására, a megfelelő tájékozottság megszerzésére.

Fontos, hogy már kisiskolás korban alapokat szerezzenek a diákok a pénzzel való tudatos gazdálkodásról, különböző gyakorlatokon keresztül ismerjék meg a családot, mint a legkisebb gazdálkodási közösség működési mechanizmusait. Azt sem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy az általános iskolában tanultakra épülnek a középiskolai tanulmányok. Sok esetben egy gazdasági témakör feldolgozása túllép a tanórai kereteken, lehetőség szerint a gyakorlatban érdemes megismertetni a piac működését. Erre szeretnék néhány egyszerű példát bemutatni.

A gyakorlati példákban nélkülözhetetlen, hogy életszerű legyen és a tanulók közreműködését igényelje. Általános iskolában, az egyik lehetőség a piaci mechanizmusok vizsgálatára a „piaci séta” nevű játék, ahol a diákok kimennek a piacra, megfigyelik az árakat, majd beszélhetnek arról, hogy vajon mi okozza azok változását?! Az árváltozásokat táblázatok, grafikonok segítségével rögzíthetik. Kialakíthatnak párbeszédet, azzal a kérdéssel, hogy miről beszélget az eladó és a vevő, megkezdett párbeszédet folytathatnak.

Középiskolában már a tőzsdei folyamatok elemzésére is lehetőség nyílik internetes oldalak segítségével. A diákok figyelemmel kísérhetik néhány részvény árfolyamának alakulását, ezt érdekesebbé téve „virtuálisan” vásárolhatnak is részvényeket és egy adott intervallumon belül figyelhetik annak alakulását, időközben el is adhatják és vásárolhatnak másik részvényt. A játék folyamán, figyelve a gazdasági híreket megfigyelhetik, vajon mi okozza egyik részvény árfolyamának csökkenését, még a másik árfolyam növekedését.

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom első részében a marketing történetével foglalkoztam, majd kiemelten a társadalmi marketing jelentőségével. Mivel ez a stúdium nonprofit szervezetekre is hatással van és viselkedésváltozással motivál, ezért úgy éreztem, hogy a hétköznapiakban már korábban boncolgatott, de ennek ellenére, még mindig nem elég fajsúlyos téma kifejtését tűztem ki célul. Ennek keretein belül a diákok pénzügyi-gazdasági személetének kialakítására hívtam fel a figyelmet. A fentiekben láthattuk, hogy a NAT is tartalmaz erre vonatkozó előírásokat, de gyakorlati megvalósítása sok esetben nehézségekbe ütközik, ezért nagyobb jelentőséget kell tulajdonítani ennek a témakörnek. A dolgozatomban néhány gyakorlati példát is bemutattem, annak elősegítésére, hogy az ötletekből újabb alternatívák is születhetnek. Sok esetben a leghétköznapibb példák szolgálnak a legjobb szemléltetési eszközként. Bízom benne, hogy a jövőre vonatkozóan motiválóan hat a NAT, valamint az erre a célra kidolgozott tankönyv és az akkreditált pedagógus továbbképzés, hogy a jövő nemzedéke már egyértelműen tájékozottabban tekintsen a világ történéseire, ezzel is megkönnyítve helyzetüket a hétköznapiakban és a munka világában.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **ANDREASEN, A. R.:** *Intersector Transfer of Marketing Knowledge. In: Paul N. Bloom and Gregory T. Gundlach (eds.): Handbook of Marketing and Society. Sage. 2000*
- [2] **BAUER A., BERÁCS J.:** *Marketing. Aula Kiadó, Budapest, 1998*
- [3] **KOTLER, P. and LEVY, S. J.:** *Broadening the Concept of Marketing. Journal of Marketing. Journal of Marketing Vol. 33. January, 10-15., 1969*
- [4] **PISKÓTI I.:** *A társadalmi marketing paradigmái – elméleti-módszertani alapoató kutatás. Miskolc, 2012., 7.o.*
- [5] **WIEBE, G. D.:** *Merchandising commodities and citizenship in television. Public Opinion Quarterly 15, Winter, 679-91., 1951-52*
- [6] http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=a1200110.kor
Letöltés dátuma: 2017. 01. 14.

CASE HIDRAULIKUS KOTRÓ GÉMTÖRÉSÉNEK VIZSGÁLATA

KOZMA Ferenc ¹, VARGA Ferenc ²

¹okleveles gépészmérnök, igazságügyi műszaki szakértő
4028. Debrecen, Gvadányi u. 18. fsz.1.
fg.kozma@gmail.com

²okleveles gépészmérnök, okleveles hegesztő szakmérnök
4033. Debrecen, Endre u.3.

Szóbeli megbízás alapján vizsgáltuk meg a CASE 695SR-4PS típusú mélyásó kotrógép törött gémszerkezetét.

1. ELŐZMÉNYEK

A kotrógép homlokrakodóját működtető mechanizmus baloldali karja a csapágy közvetlen közelében teljes keresztmetszetében eltört. A jobboldali karon pedig egy repedés keletkezett. A helyszíni szemlén, szemrevételezéses vizsgálatot követően sarokköszörűvel a tört gép egy kb. 250 mm-es darabját levágva, a vele törés előtt szilárd kapcsolatban lévő csapágyperselyt is tartalmazó darabját leszerelve, részletes vizsgálat céljából elszállítottam.



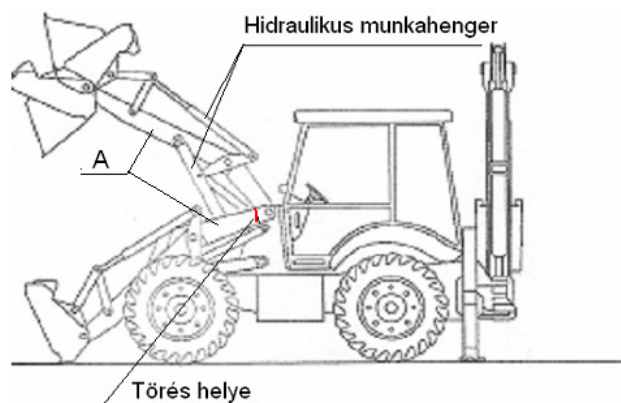
1. ábra.

2. SZAKÉRTŐI VIZSGÁLAT

A törött kar a homlokrakodó kanál mozgatóját végzi. A gép felépítményéhez két oldalon egy-egy siklócsapágy közbeiktatásával kapcsolódik a mechanizmus.

A mechanizmust 2 pár hidraulikus munkahenger mozgatja.

A mechanizmus vázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra.

A homlokrakodó kanál mozgatását végző fő tartó (A) az 2. számú ábrán megjelölt helyen tört el. A fő tartó igénybe-vétele húzás+hajlítás mellett kismértékű nyírás. A törés következtében a másik oldali fő tartó a húzás + hajlítás + nyírás mellett csavaró nyomatékkal is terhelté vált. Az így kialakult többlet igénybevétel miatt az a fő tartó is megrepedt (3. ábra).



3. ábra.

Ez a repedés is a teljes keresztmetszetre kiterjedő töréssé fejlődne a további használat és terhelés fennállása esetén.

A törés vonala szabálytalan alakzatot mutat, egy része a hegesztési varratot is tartalmazza. A tört felület egy része a töréskori állapotban marad meg (4. ábra).



4. ábra.

A nagyobbik része azonban a törés utáni mozgások és terhelőerő miatt dinamikus ütéseknek volt kitéve. Az ütések miatt a tört felület egy része átalakult, elverődött.

Az U-alakú profil gerincénél ridegen tört, a varrat keresztmetszete, illetve beolvadása némely helyen csekély (5., 6. és 7. ábra).



5. ábra.

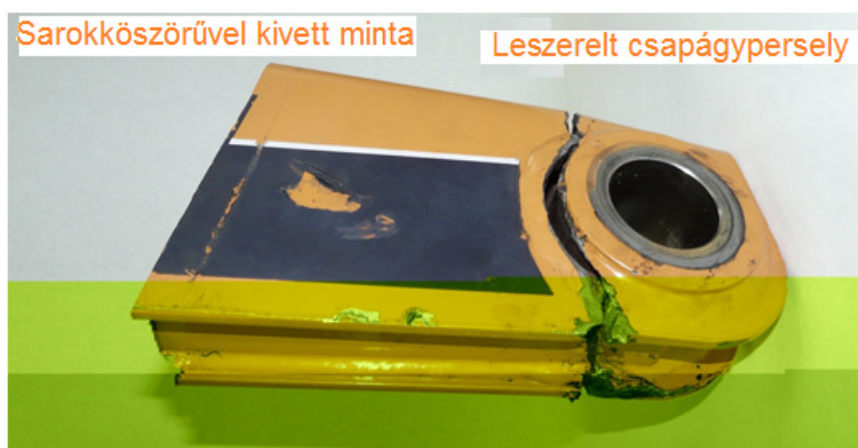


6. ábra.



7. ábra.

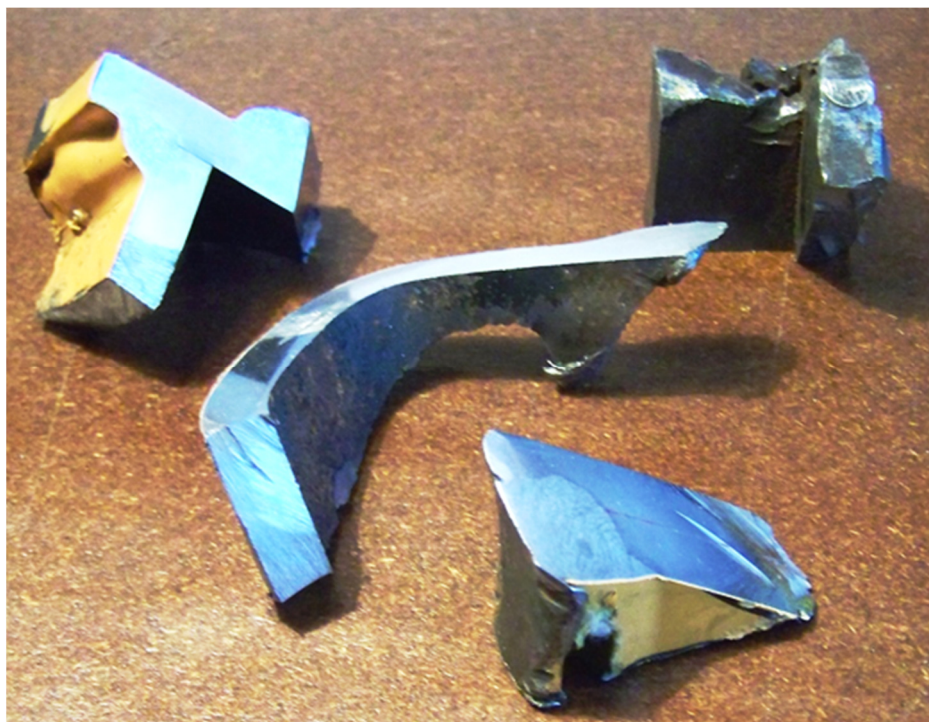
A kivett mintadarabok a 8. ábrán láthatók.



8. ábra.

A leszerelt siklócsapágy perselye kenőzsírral fedett volt. Tisztítás után a csúszó felületeket megvizsgálva megállapítható, hogy azokon elégtelen kenésből származó berágódás, a szokásostól nagyobb mértékű kopás sehol nem volt található.

A mintákból a tört felület és a hegesztett kötés közvetlen közeléből makro- és mikrovizsgálatra alkalmas méretű darabokat készítettem, szintén sarokköszörű felhasználásával.



9. ábra.

A 10., 11. és 12. ábrán a tört felület egy-egy részlete látható, különböző nagyításban.



10. ábra.

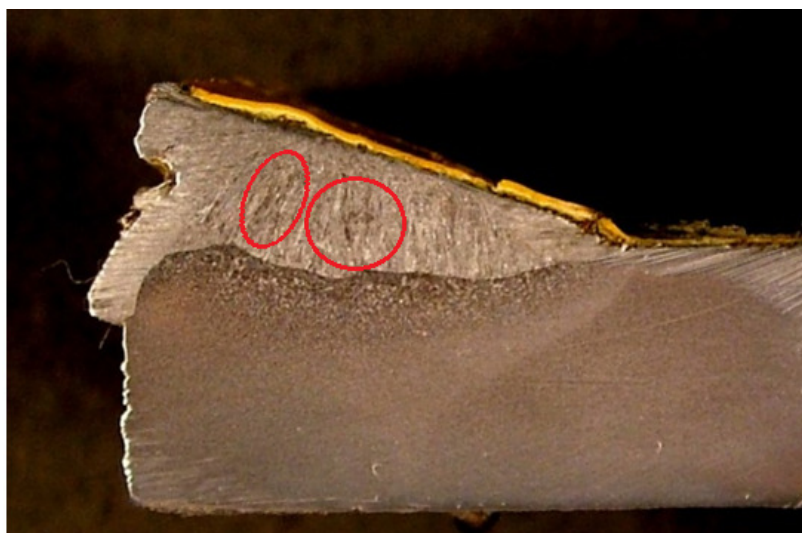


11. ábra.



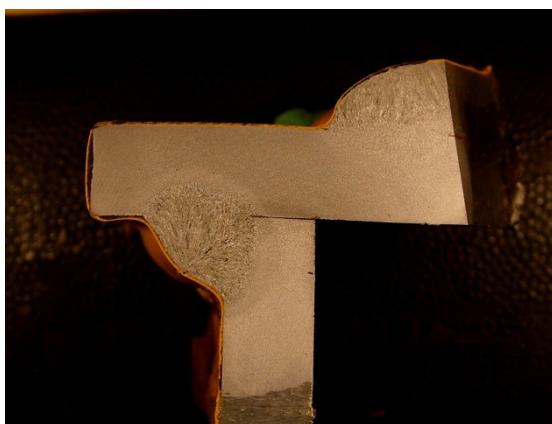
12. ábra.

A 13. ábrán látható mikrociszszolaton jól láthatóan tömlőalakú gázzárványok láthatóak. Ezek mennyisége jelentős, ez volt a repedés kiinduló helye.



13. ábra.

Ehhez még hozzájárult a csapágyház belső rögzítő varrata kis kereszt-metszete. A hegesztett kötés kialakításakor a hegfürdő döntően az erősítő lemez fele terjedt (aszimmetrikus varrat keresztmetszet). (14., 15. ábrák)



14. ábra.



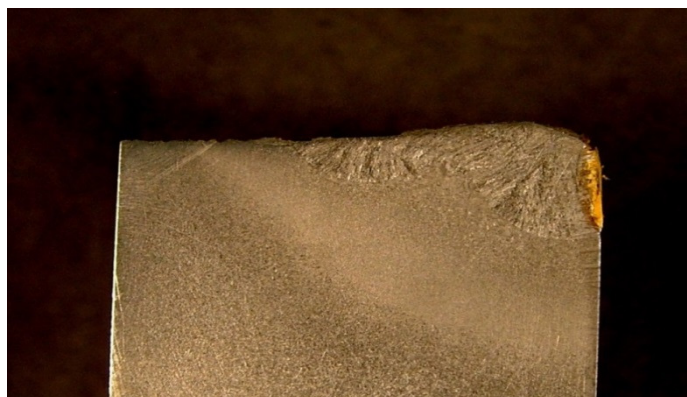
15. ábra.



16. ábra.

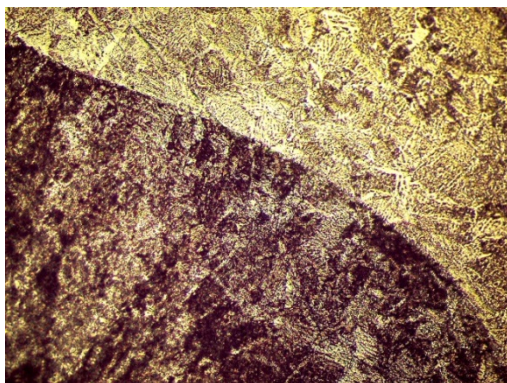
A kisebb terhelhető keresztmetszetben olyan értékű feszültségek keletkeztek, amelyek meghaladták a terhelt anyagok (alapanyag, varrat, hőhatásövezet) szilárdságát. Ehhez hozzájárult még a gép, üzemszerű használatával együttjáró ismétlődő, dinamikus terhelése. A kiinduló repedés fokozatosan növekedve elért egy olyan kritikus méretet, amikor az épen maradó keresztmetszet már nem bírta a rá jutó terhelést és teljes keresztmetszetében eltört.

A törés közelében lévő hegesztett kötések további vizsgálata alapján megállapítom, hogy egyéb helyeken a varratképzés megfelel a szakmai szabályoknak.

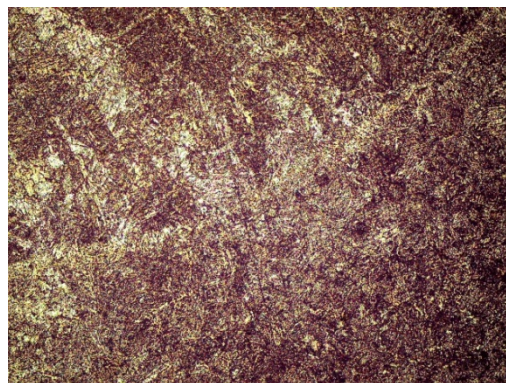


17. ábra.

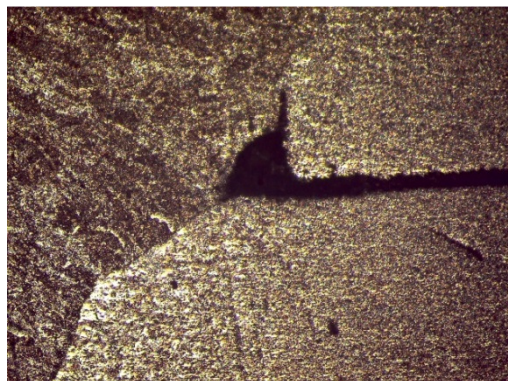
A 16. ábrán a törött varrat és a varrat átmenet látható, melyet a kar külső - nem merevített - oldalából vettem ki. A 17. ábra a varratátmenetet mutatja 100x –os nagyításban. Ugyancsak 100x-os nagyítással készültek a 18., 19., és a 20. ábrák. Ezek a képek is a varrat alapanyaghoz való kapcsolódását mutatják.



18. ábra.

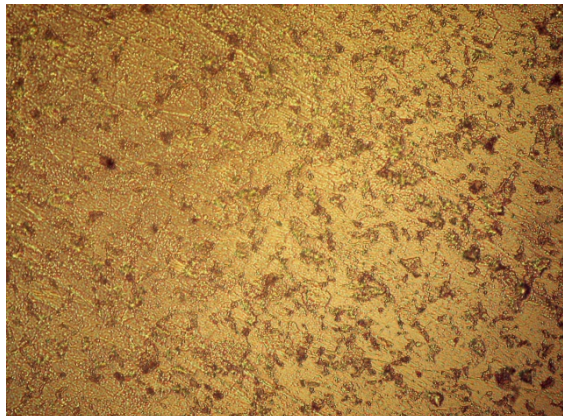


19. ábra.

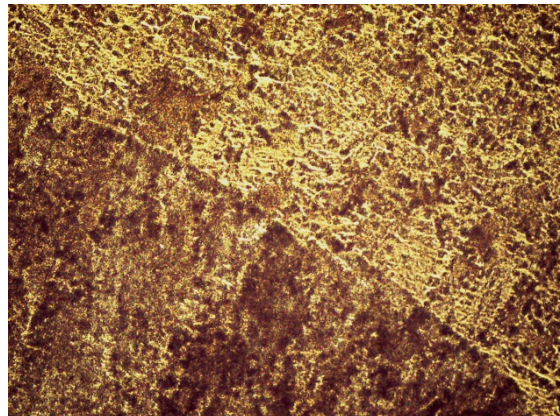


20. ábra.

Az alapanyag szövetszerkezeti vizsgálatának egy elemét mutatja az 100x-os nagyításban készült a 21. ábra. A képen látható a jól meghatározható perlites szövetszerkezet. A sarokvarrat átmenetéről készített 100x-os nagyítású kép semmilyen szövetszerkezeti elfajulást nem mutat (22. ábra).



21. ábra.



22. ábra.

A vizsgált részekben a hőhatásövezetben Brinell keménységmérést végeztem, melynek eredménye a $HB_{2,5/1840/30}$: 180-190. Ezek azonosak a növelt szilárdságú acélra jellemző, megfelelő értékű keménységekkel.

3. SZAKÉRTŐI VÉGKÖVETKEZTETÉS

- A CASE 695SR-4PS típusú mélyásó kotrógép gémszerkezetének törését a homlokrakodó karjának a csapágyerselyhez való rögzítését biztosító hegesztett kötés hibája okozta.
- A teljes keresztmetszet törését a hibás (nagy mennyiségű tömlőalakú gázzárvány a varratban) varratkialakítás miatt keletkezett kezdő repedés továbbterjedése okozta.
- A repedés növekedése miatt a szerkezet teherviselő keresztmetszete csökkent, ami miatt változatlan terhelés mellett is nőtt a keletkező feszültség. Amikor a feszültség elérte az anyag szilárdságát, a megmaradó keresztmetszet mentén az anyag hirtelen, ridegen eltört.
- A törés utáni használat miatt a tört felületek egymással ütközve elverődtek, képlékenyen deformálódtak.

KONTINUUM, ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÉS AZ ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÁLTALÁNOSÍTÁSA

CONTINUUM, GENERALISED CONTINUUM AND THE GENERALISATION OF THE GENERALISED CONTINUUM

LÁMER Géza

főiskolai tanár, glamer@eng.unideb.hu

Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék. Debreceni Egyetem, Műszaki Kar.

Kivonat: A tanulmányban áttekintjük a kontinuum fogalmát, valamint a kontinuum általánosításaként nyert általánosított kontinuum fogalmát. Az általánosítást algoritmusnak fogjuk fel, és ez lehetővé teszi egyrészt az általánosított kontinuum általánosítását, másrészt az általánosított kontinuum fogalmának tüzetesebb vizsgálatát. Így vizsgálható az algoritmus formalitása, matematikai korrektsége, fizikai tartalma. A tanulmányban áttekintjük mind a klasszikus, mind az általánosított kontinuum matematikai hátterét. Egyúttal rámutatunk arra, hogy a klasszikus kontinuum értelmezési tartománya a matematikai értelemben vett kontinuum, az általánosított kontinuum értelmezési tartománya a szabályos kristályrács pontjainak halmaza.

Kulcsszavak: kontinuum, klasszikus kontinuum, általánosított kontinuum, rácskontinuum

Abstract: In the paper a review on the continuum, generalised continuum and the generalisation of the generalised continuum is given. The generalisation is interpreted as an algorithm. This view of points gives possibility on one side to generalise the generalised continuum, and on other side to analyse the concept of the generalised continuum. So the formalism, the mathematical correctness and physical content can be analyse. In the paper the mathematical background of the classical and the generalised continuum is given. We will show that the range of interpretation of the classical continuum is the continuum (in the mathematical sense), and the range of interpretation of the generalised continuum is the (crystal) lattice-continuum.

Keywords: continuum, classical continuum, generalised continuum, lattice-continuum

1. BEVEZETÉS

Az anyag atomi-molekuláris felépítése folytán igen sok részecskéből áll. Az anyagot alkotó egyes szomszédos részecskék – atomok – egymásra hatnak. Kockarácsot feltételezve egy-egy részecske közvetlen környezetében hat, kissé távolabbi környezetében nyolc részecskével „érintkezik”. Az érintkező részecskék közvetlen szomszédjait is figyelembe véve nagyságrendben további száz részecskét kell számításba venni. A rendszert a részecskék helyével, illetve a részecskék között fellépő erőkkel jellemezzük. Az ismeretlenek száma arányos a részekék számával, jelölje n . Végül is a megoldandó egyenletrendszer (mivel az egyes részecskék között fellépő erők kiküszöbölhetők) a részecskék modelljétől függően $3n$ (anyagi pont), $6n$ (merev test), esetenként $12n$ (deformálható szilárd test). Egy-egy számszerű példa megoldása során a problémát az n nagysága jelenti. Ugyanis amíg egy köbdeciméter gáznemű anyagban 10^{23} atom/molekula van jelen, addig egy szilárd test vizsgálata során (pl. egy vasúti híd) több köbméter anyag a vizsgálat tárgya, azaz n nagyságrendben nagyobb 10^{23} értékénél. Ezért sok atomot/molekulát tartalmazó anyag esetén egy új hipotézishez, az anyag folytonosságának hipotéziséhez folyamodunk. Ez a hipotézis lehetővé teszi egyrészt, hogy a strukturált anyagot folytonos közegként, az euklideszi tér egy tartományaként kezeljük, másrészt, hogy egy-egy pontban mindösszesen 15 ismeretlen mennyiséget értelmezzük, bár ezek a mennyiségek mezőt alkotnak. Következésképpen az ismeretlen mezőkre nézve parciális differenciális összefüggések teljesülését kell előírni. A folytonosság egy másik következménye, hogy a modell statikailag határozatlan: az egyen-

súlyi egyenletek száma kevesebb, mint a rendszerben értelmezett dinamikai ismeretlenek (feszültségek) száma. Ezért az anyagok viselkedése – rugalmas, képlékeny, viszkózus – függvényében ugyanazon egyensúlyi egyenletek mellett az anyagok belső állapotai különböznek.

Rendszerint párhuzamot vonnak a kontinuum és az anyagi pont, valamint a merev test között. A párhuzam alapját a kinematikai szabadságfok jelenti. Az anyagi pontnak három kinematikai szabadságfoka van (három eltolódás komponens), a kontinuum egy-egy pontjának szintén. A merev testnek hat kinematikai szabadságfoka van (három eltolódás komponens és három elfordulás komponens). Az anyagi pont – merev test, mint „diszkrét” modell-pár arra utal, hogy a klasszikus kontinuum mellett értelmezhető lehet egy olyan kontinuum is, amelyben a kinematikai szabadságfokok száma hat: a kontinuum egyes pontjainak nem csak eltolódás komponensei vannak, hanem elfordulás komponense is. Ez az analógia lehetne az alapja a klasszikus kontinuum általánosításának.

A forgás értelmezéséhez, leírásához egy lokális kísérő triédert szokás a kontinuum pontjaihoz kötni, és ennek a kísérő triédernek a térben elfoglalt helyzetét jellemzi a három forgás. A merev testtel való analógia tökéletesnek tűnik. Ez a modell a nyomatéki (micropolar) elmélet (lásd ERINGEN [1]).

A kísérő triéder bevezetése további kinematika szabadságfokok értelmezését is lehetővé teszi: a triéder tengelyeinek relatív nyúlása valamint a triéder tengelyei által közrezár szög megváltozása. Ezek a kinematikai szabadságfokok már a kontinuum, vagy legalábbis egy kocka hat elemi (és egyúttal homogén) alakváltozására utalnak. Az így nyert modellek a mikro-nyúlásos (microstretch), mikro-alakváltozásos (mikromorphic) vagyis az általánosított kontinuumok (lásd ERINGEN [1]).

A nyert elméletek matematikailag elegánsak, bár az anyagi állandók száma a szabadságfokok számának növelésével gyorsan nő. Míg homogén, izotróp anyagot feltételezve a lineáris rugalmasságtan két anyagi állandó használatát tételezi fel, addig (az anyag homogén, izotróp tulajdonságait „megtartva”) a nyomatéki elmélet már hatot, de ismertek olyan elméletek is, amelyben az anyagi állandó száma a százas nagyságrendbe esik. Az anyagi állandó kérdése, úgy tűnik, ennél összetettebb. A korai munkák közül egy jelzi, hogy nincs kimért anyagi állandó. „This theory does not have yet the complete experimental verification.” (NOWACKY, [2], p 12.) Közel 30 évvel később ERINGEN [1] két kísérletet ismertet (pp. 164-166). Az egyik alumínium szemcsék epoxi gyantában, a másik állati csont. Az első esetben néhány paramétert kimértek, de az összes anyagi állandó kimérése nem történt meg (azaz nincs teljes kísérleti eredmény). A csont esetén rámutat arra, hogy a nyert mérési eredmények érdemben nem használhatók, mert az értékek nincsenek összhangban az elméleti megfontolásokkal. Végül újabb 10 év múltán a szakirodalom szerint ez a kutatási irány inkább elméleti, semmint kísérleti: „The majority of these contributors consists of applications of the theory, i.e., solutions of equations of micropolar, microstretch, and micromorphic solids and fluids of Eringen (ERINGEN [1], p. xiv). Rá kell mutatni arra, hogy az elméletet ismertető monográfiák kísérleti elrendezéseket nem ismertetnek (NOWACKY, [2], ERINGEN [1,3]).

Az anyagi állandók kérdése kiemelt szerepet játszik egy elmélet megítélésében. Ugyanis, ha az anyag viselkedését „inkább” a belső szerkezet jellemzi, akkor annak a kísérleti eredményekben vissza kellene tükröződnie. A fentebb ismertetett néhány nem teljes értékű kísérleti eredménnyel szemben a szakirodalom inkább a folytonos modellről rendelkezik kísérleti eredménnyel, semmint a strukturált anyagról. A teljesség igénye nélkül néhány monográfia (köztük néhány újabb, amely a modern eszközökkel kimérte volna, hogy az anyag nem folytonos, hanem belső szerkezetű), amelyek az anyagi viselkedést a klasszikus kontinuum segítségével írja le: BACH [4], HETÉNYI [5], BELL [6], SCHARPE [7].

Az általánosított kontinuum fogalma a diszkrét–folytonos rendszer párhuzamba állítá-

sával is megközelíthető. Ennek az alapgondolata, hogy a diszkrét rendszerre felírt Lagrange-elvet transzformáljuk egy folytonos modellbe, és az így nyert modellt tekintjük az általánosított kontinuumnak. Pontosabban rácskontinuumnak. A modell formálisan visszaadja az általánosított kontinuum parciális differenciálegyenletét, az anyagi állandók magas számát. Ugyanakkor rámutat arra, hogy egyrészt a nyert megoldásnak a kontinuum nem minden pontjában van értelme, hanem csak a rácspontokban, másrészt, hogy az anyag viselkedése nem folytonos, hanem diszkrét. Ezért a szerző belső szerkezetről, vagy rács-kontinuumról beszél. Megmutatja azt is, hogy az anyagi állandókat nem kimérni kell önálló kísérleti eredményekből, hanem a diszkrét modell anyagi jellemzőiből kell levezetni (KUNYIN [8]).

Az általánosított kontinuum értelmezése során több olyan matematika lépést is alkalmaznak, amely ellentmondásban van a matematikában megszokott összefüggésekkel. Erre egy korai tanulmányunkban mutattunk rá (LÁMER [9]). Az anyagi pont \leftrightarrow merev test és klasszikus kontinuum \leftrightarrow általánosított kontinuum analógia részletesebb vizsgálatát korábbi tanulmányunkba megadtuk, és rámutattunk arra, hogy itt két független modellsorozatról van szó (LÁMER [10]).

Jelen tanulmányban áttekintjük a klasszikus és az általánosított kontinuumot, egymáshoz való viszonyukat, és megvizsgáljuk, hogy vajon az általánosított kontinuum valóban kontinuum-e, és hogy a korábban fellelt ellentmondások hogyan oldhatók fel.

2. A KLASSZIKUS KONTINUUM FOGALMAINAK ÁTTEKINTÉSE

2.1. A klasszikus kontinuum viselkedést leíró modell négy összetevője

A klasszikus kontinuum, mint a deformálható szilárd test mechanikai viselkedését leíró modell négy főbb részre tagolható (lásd pl. LOVE [11], LUR'E [12]).

Kinematika: az alak megváltozása, ezen belül a kontinuum pontjai eltolódásának, a mérhető hosszak megváltozásának, a görbék közötti szög megváltozásának, valamint az eltolódások és az alakváltozások közötti kapcsolat meghatározása.

Dinamika: belső erő értelmezése, és a belső erők egyensúlyának meghatározása a kontinuum egy pontjában.

Anyagi viselkedés: a kontinuumban értelmezett belső erők csak az egyensúlyi egyenletekből nem határozhatók meg; a kontinuum, mint mechanikai rendszer, statikailag határozatlan. A belső erők meghatározásához az alak megváltozását és a belső erőket össze kell kapcsolni. Ezek az anyagi (fizikai) egyenletek.

Kezdeti és peremfeltételek: a kontinuumra értelmezett három összefüggés, illetve egyenlet lokálisan, a kontinuum egy-egy pontjában jellemzi a kontinuum mechanikai viselkedését. Ezeknek az összefüggéseknek, illetve egyenleteknek a struktúrája a kontinuum minden pontjában azonos. Ezért a deformálható szilárd test konkrét (számszerűen kifejezhető) mechanikai állapotát – az egyenletek belső szerkezetén túl – a test alakja, valamint a kezdeti pillanatban és a peremen megadott feltételek határozzák meg. Ezek a kezdeti és peremfeltételek.

2.2. Kinematika

A klasszikus kontinuum kinematikai leírásához alapvetően differenciálgeometriát alkalmazunk (általános áttekintést lásd pl. KOBAYASHI-NOMIZY [13]; a kontinuum mechanikára alkalmazott differenciálgeometriai struktúrát lásd LÁMER [14]). A modell megalkotása során topológiai és metrikus eszközöket alkalmazunk, egyúttal topológiai és metrikus korlátokat kell szem előtt tartani (LÁMER [15,16]).

A kinematikai összefüggéseket általánosságban lásd pl. [11,12].

A vizsgált test modellje. Az atomi-molekuláris felépítésű anyag, mint deformálható szilárd test, kinematikai modelljének az alapja, hogy a vizsgált, belső szerkezetű anyag helyett a belső struktúra nélküli Euklideszi tér egy tartományát vizsgáljuk. A közös pont mindösszesen annyi, hogy a vizsgált test geometriai méreteivel, alakjával megegyező alakú és méretű geometriai tartományt tekintünk. A vizsgálatok során felhasználjuk, hogy az Euklideszi tér skalárszorzáttal ellátott lineáris tér, amelyben bevezethető a metrika, továbbá maga a tér a metrika segítségével topológikus vektortérre tehető. Ezek a tulajdonságok teszik lehetővé a függvények, vektorok értelmezését, valamint, ezen matematikai objektumokra nézve értelmezett differenciál- és integrálszámítás bevezetését.

A tér geometriai szerkezete.

A test minden pontjához hozzárendelünk egy \mathbf{r} helyvektort. Az \mathbf{r} helyvektor a három q^i ($i = 1, 2, 3$) koordináta függvénye:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3). \quad (2.1)$$

Az \mathbf{r} helyvektor q^i ($i = 1, 2, 3$) koordináták szerint vett parciális differenciáljai határozzák meg az \mathbf{r} helyvektorú pontban a koordinátarendszer kíséző triéderét, $\{\mathbf{r}_i\}$, ($i = 1, 2, 3$), azaz ebben a pontban az érintőtér bázisvektorait:

$$\mathbf{r}_i = \frac{\partial \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3)}{\partial q^i}, \quad (i = 1, 2, 3). \quad (2.2)$$

A bázisvektorok skalárszorzatával értelmezzük az adott pontban a tér metrikus tenzorát:

$$g_{ij} = \langle \mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j \rangle = \langle \mathbf{r}_j, \mathbf{r}_i \rangle = g_{ji}, \quad (i = j = 1, 2, 3). \quad (2.3)$$

A metrikus tenzort a tér adott \mathbf{r} helyvektorú pont érintőterében értelmezzük. Ez a többi matematikai objektumra is vonatkozik, a továbbiak erre már nem hívjuk fel a figyelmet.

A metrikus tenzor – a skalárszorzat szimmetriája miatt – szimmetrikus.

Christoffel-Riemann-féle háromindexes szimbólumokat a koordinátavonalon továbbmozdult kíséző triédernek a mozdulatlan kíséző triéderben való felbontásában alkalmazott együttthatóként, struktúra konstansokként értelmezzük.

$$\mathbf{r}_{ij} = \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q^j} \left(= \frac{\partial \mathbf{r}_j}{\partial q^i} \right) = \Gamma_{ij}^k \mathbf{r}_k \left(= \Gamma_{ji}^k \mathbf{r}_k \right), \quad (i = j = 1, 2, 3). \quad (2.4)$$

Az affin együttthatók (Christoffel-féle szimbólumok) kifejezhetők a metrikus tenzor komponenseivel:

$$\Gamma_{ij}^k = g^{ks} \langle \mathbf{r}_{ij}, \mathbf{r}_s \rangle = \frac{1}{2} g^{ks} \left(\frac{\partial g_{is}}{\partial q^j} + \frac{\partial g_{js}}{\partial q^i} - \frac{\partial g_{ij}}{\partial q^s} \right). \quad (2.5)$$

A Christoffel-féle szimbólumok a görbe vonalú koordinátarendszerben végzett differenciál- és integrálszámításban játszanak szerepet. Az abszolút differenciálok (egy kontravariáns komponensre bemutatva):

$$\nabla_j a^i = \frac{da^i}{dq^j} + \Gamma_{kj}^i a^k. \quad (2.6)$$

A tér görbültségét leíró görbületi tenzor (a Christoffel-féle szimbólumokkal kifejezve):

$$r^i_{jkl} = \frac{\partial \Gamma^i_{jl}}{\partial q^k} - \frac{\partial \Gamma^i_{jk}}{\partial q^l} + \Gamma^i_{sk} \Gamma^s_{jl} - \Gamma^i_{sl} \Gamma^s_{jk}. \quad (2.7)$$

A Riemann-féle görbületi tenzor a tér sík vagy görbült voltát fejezi ki. Az Euklideszi tér, amelyben a modellt alkotjuk, sík, azaz Riemann-féle görbületi tenzor zérus értékű. A görbületi tenzorral leírható a párhuzamos eltolás, az abszolút differenciálok felcseréléséből adódó különbség:

$$\nabla_j \nabla_k a^i - \nabla_k \nabla_j a^i = r^i_{jkl} a^l. \quad (2.8)$$

A Bianchi-azonosság,

$$\nabla_i r^i_{jkl} = 0, \quad (2.9)$$

integrálhatósági feltétel; azt fejezi ki, hogy tetszőleges hat függvényt nem választhatunk metrikus tenzor elemeinek, mert különben azokból a koordinátavonalak nem határozhatók meg egyértelműen.

A tér geometriai szerkezetével leírható geometriai fogalmak.

Ezután áttekintjük azokat a geometriai fogalmakat, amelyeket a fenti mennyiségekkel meghatározhatunk.

Az **a** és **b** vektor skalárszorzata:

$$\langle \mathbf{a}, \mathbf{b} \rangle = g_{ij} a^i b^j. \quad (2.10)$$

Az **a** és **b** vektor által bezárt szög (koszinusza):

$$\cos(\angle \mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\langle \mathbf{a}, \mathbf{b} \rangle}{\sqrt{\langle \mathbf{a}, \mathbf{a} \rangle \langle \mathbf{b}, \mathbf{b} \rangle}}. \quad (2.11)$$

A tér két pontja közötti reguláris ív hossza:

$$s = \int_{t_0}^{t_1} ds = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{\left| g_{ij} \frac{dq^i}{dt} \frac{dq^j}{dt} \right|} dt. \quad (2.12)$$

A vizsgált tér szerkezete a test alakjának megváltozása után.

A vizsgált test az azt ért terhelés hatása alatt megváltoztatja pontjainak helyzetét, ezzel együtt a tér mérhető jellemzőit a vizsgált tartományon belül: két pont közötti távolság, két görbe által bezárt szög, az affin összefüggés együttthatóit. Ugyanakkor a tér alapvető *topológiai szerkezete* és *görbületi tulajdonsága* nem változik meg: a pontok egymás utánisága (a koordináták értéke) és a görbületi tenzor zérus volta (a tér sík, és nem görbült) nem változik. Azaz a mérhető értékek változásai adják meg a vizsgált test, a mechanikai értelemben vett kontinuum kinematikai összefüggéseit.

A deformált helyzetben az (1-12) összefüggéssel azonos összefüggéseket kell felírni. A különbség annyi, hogy az (1-12) összefüggések a deformálatlan, a felírandó (de fel nem írt) összefüggések a deformált helyzetre vonatkoznak. Ahhoz, hogy a két állapotot megkülönböztethessük, a deformálatlan helyzethez tartozó matematikai mennyiségeket kisbetűvel, a deformált helyzethez tartozókat nagybetűvel jelöljük.

A vizsgált test alakja megváltozását leíró matematikai mennyiségek.

Eltolódásvektor(mező): az Euklideszi tér vizsgált tartománya minden pontjához hozzárendelünk egy eltolódásvektort. A helyvektorok különbsége az eltolódásvektor:

$$\mathbf{u} = \mathbf{R} - \mathbf{r}. \quad (2.13)$$

A metrikus tenzor megváltozása: A metrikus tenzorok különbsége az alakváltozás mértéktenzora:

$$\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{G} - \mathbf{g}. \quad (2.14)$$

Alakváltozás(mező): az eredeti és a megváltozott metrika segítségével értelmezzük az alakváltozási mezőt. Az a két metrikus tenzor különbségének a fele.

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} \boldsymbol{\gamma} = \frac{1}{2} (\mathbf{G} - \mathbf{g}). \quad (2.15)$$

1. *Megjegyzés:* csak kis alakváltozás értelmezhető, nagy nem; amit nagy alakváltozásnak vélünk, az átrendeződés (lásd pl. LÁMER [16,17]).

A *Christoffel-Riemann-féle háromindexes szimbólum megváltozása*. A test alakjának megváltozása során megváltozik a koordinátavonal alakja, ezért az abszolút differenciálásban ezt a változást a Christoffel-Riemann-féle háromindexes szimbólum megváltozása tükrözi vissza.

2. *Megjegyzés.* Kis alakváltozások és kis eltolódások esetén a Christoffel-Riemann-féle háromindexes szimbólum megváltozása elhanyagolható, kis alakváltozások és jelentős eltolódások esetén nem (lásd pl. LÁMER [17-19]).

Az affin összefüggés együtthatónak megváltozása:

$$\lambda_{ij}^k = \Gamma_{ij}^k - \Gamma_{ij}^k. \quad (2.16)$$

Riemann-féle görbületi tenzor megváltozása.

$$\boldsymbol{\rho} = \mathbf{R} - \mathbf{r}, \quad (2.17)$$

azaz

$$\rho_{jkl}^i = R_{jkl}^i - r_{jkl}^i. \quad (2.18)$$

Az alakváltozása után a Riemann-féle görbületi tenzor ugyanazt a teret jellemzi: azaz a testre ható erők hatása alatt a test változik meg, nem a beágyazó tér. Azaz a megváltozott Riemann-féle görbületi tenzor továbbra is ugyanannak a térnek jellemzését adja.

A *Bianchi-azonosság* az alakváltozás utáni állapotban is integrálhatósági feltétel. A Bianchi-azonosság a Riemann-féle görbületi tenzor megváltozása vonatkozik. Azt fejezi ki, hogy tetszőleges hat függvényt nem választhatunk az alakváltozási tenzor komponenseinek (a metrikus tenzor komponensei megváltozásának), mert különben azokból az eltolódásvektor komponensei nem határozhatók meg egyértelműen.

Az elmélet kiépítéséhez szükség van a különböző geometriai objektumok megváltozásának a kifejezésére az eltolódásvektor gradiens tenzora komponenseivel. Itt csak egy geometriai objektumra, az alakváltozás mértéktenzorára vonatkozó összefüggést adjuk meg:

$$\boldsymbol{\gamma} = \nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^* + (\nabla \mathbf{u})(\nabla \mathbf{u})^*. \quad (2.19)$$

Ezeket az összefüggéseket jelen tanulmányban nem használjuk fel, az összefüggéseket

lásd LÁMER [17-19].

2.3. Dinamika

A klasszikus kontinuum dinamikai leírásához az alábbi fogalmakat és összefüggéseket alkalmazzuk. A dinamikai összefüggéseket általánosságban lásd pl. [11,12].

Feszültség. A deformálható szilárd test, kontinuum, esetében a koncentrált belső erő alkalmazásáról le kell mondanunk. E helyett a testben a belső felületek mentén értelmezett megoszló erőt értelmezzünk. Mivel az elsődleges fogalmunk a koncentrált erő, ezért belső erőt a következőképpen értelmezzük. A testet kettéosztó (a kettéosztás szempontjából belső) felületen, annak is (a felület irányítása szempontjából külső) \mathbf{n} normálisú felületén legyen adott a felületen értelmezett $\boldsymbol{\sigma}_n$ mennyiség, amelyet ha kicsiny, de véges nagyságú felületen összegzünk (integráljuk), akkor végeredményben koncentrált erőt (erővektort) kapunk:

$$\int_{\Delta A} \boldsymbol{\sigma}_n dA = \mathbf{F}_{n, \Delta A}. \quad (2.20)$$

Az így bevezetett $\boldsymbol{\sigma}_n$ mennyiséget nevezzük feszültségvektornak. A feszültségvektort a felületelemhez kötjük: a feszültség függ a felület irányításától. Ugyanakkor a feszültvektor függ attól a ponttól, amely pont környezetében értelmezzük a feszültségvektort.

Egy elemi tetraéder egyensúlyának vetületi egyenlete. A tetraéder felületeire ható feszültségvektorokat koordinátaírányokba eső komponensekre bontjuk fel. A tetraéder befogó lapjai és az átfogó lapja területeinek aránya megegyezik a tetraédert kifeszítő három koordinátavonal és az átfogó laphoz rendelt („elforgatott”, új) koordinátarendszer koordinátavonalaik által bezárt szög iránykoszinuszával:

$$\begin{array}{cccc} & x & y & z \\ x' & l_1 & m_1 & n_1 \\ y' & l_2 & m_2 & n_2 \\ z' & l_3 & m_3 & n_3 \end{array} \quad (2.21)$$

A három koordináta irányának megfelelően három vetületi egyensúlyi egyenlet írható fel. Ezek az összefüggések megadják, hogy a feszültségkomponensek egy pontban (másodrendű) *tenzoriális* mennyiséget alkotnak (csak két komponenst írunk fel):

$$\begin{aligned} \sigma_{x'x'} &= \sigma_{xx} l_1^2 + \sigma_{yy} m_1^2 + \sigma_{zz} n_1^2 + (\sigma_{xy} + \sigma_{yx}) l_1 m_1 + \\ &\quad + (\sigma_{yz} + \sigma_{zy}) m_1 n_1 + (\sigma_{zx} + \sigma_{xz}) n_1 l_1, \\ \sigma_{x'y'} &= \sigma_{xx} l_1 l_2 + \sigma_{yy} m_1 m_2 + \sigma_{zz} n_1 n_2 + (\sigma_{xy} l_1 m_2 + \sigma_{yx} m_1 l_2) + \\ &\quad + (\sigma_{yz} m_1 n_2 + \sigma_{zy} n_1 m_2) + (\sigma_{zx} n_1 l_2 + \sigma_{xz} l_1 n_2). \end{aligned} \quad (2.22)$$

Egy elemi tetraéder egyensúlyának nyomatéki egyenlete. A tetraéder felületeire ható feszültségvektorokat most is koordinátaírányokba eső komponensekre bontjuk fel. A nyomatéki egyensúlyi egyenleteket a tetraéder átfogó lapjának súlypontján áthaladó koordinátavonalakra írjuk fel. Ismert a tetraéder geometriájából, hogy a befogó lapok súlypontján áthaladó, a koordinátavonalakkal párhuzamos egyenesek áthaladnak az átfogó lap súlypontján. Ezért a nyomatéki egyensúlyi egyenletekben csak és kizárólag a befogó lapokon ható csúsztató feszültségek szerepelnek. Tehát a nyomatéki egyensúlyi egyenletek,

$$\sigma_{xy} = \sigma_{yx}, \quad \sigma_{yz} = \sigma_{zy}, \quad \sigma_{zx} = \sigma_{xz}, \quad (2.23)$$

azt adják meg, hogy a feszültségek egy pontban (másodrendű) *szimmetrikus* tenzoriális mennyiséget alkotnak. (A (22) összefüggések egyszerűsödnek, kiírásuktól eltekintünk.)

Egy elemi téglatest egyensúlyának vetületi egyenletei. Az egyensúly felírásához az elemi téglatest két párhuzamos oldalán ható feszültségvektor értékeit használjuk fel. Az elemi téglatest méretei elenyészően kicsinyek, ezért a feszültségvektor változása az elemi téglatesten belül – a ponthalmaz kontinuum számossága, a ponthalmaz teljessége, szeparálhatósága, a folytonosság – fogalmainak felhasználásával a feszültségtenzor komponenseinek differenciáljával fejezhető ki. Ennek megfelelően a kontinuum egyensúlyának vetületi egyenleteiben a feszültségtenzor egyes komponenseinek parciális differenciáljai szerepelnek:

$$\frac{\partial \sigma_{x\kappa}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{y\kappa}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{z\kappa}}{\partial z} + F_{\kappa} = 0, \quad \kappa = x, y, z. \quad (2.24)$$

Maga a vetületi egyensúlyi egyenlet azt fejezi ki lokálisan, hogy a feszültségtenzor divergenciavektora és a térfogati erők vektora együttesen egyensúlyban vannak a test (a kontinuum) minden pontjában.

Egy elemi téglatest egyensúlyának nyomatéki egyenletei. A kontinuum egyensúlyának nyomatéki egyenletei lokálisan teljesülnek, mert azt fejezik ki, hogy a feszültségtenzor szimmetrikus.

2.4. Anyagi egyenletek

A klasszikus kontinuum anyagi viselkedésének leírásához az alábbi fogalmakat és összefüggéseket alkalmazzuk. A fizikai összefüggéseket általánosságban lásd pl. [11,12].

A szimmetrikus alakváltozástenzor hat komponensét és a szimmetrikus feszültségtenzor hat komponensét összekapcsoljuk.

Az anyagi viselkedés tekintve három anyagi viselkedés-csoport különíthető el: rugalmas, képlékeny és viszkózus. A gyakorlatban a lineárisan rugalmas viselkedés az anyagok egy széles osztálya viselkedésének leírására alkalmas. A továbbiakban erre korlátozzuk a vizsgálódásainkat.

A lineáris formában hat függvény hat függvénytől való függéséhez 36 együttható szükséges. A szimmetria okán ennek a száma 21-re csökken.

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}, \quad C_{ijkl} = C_{klij}, \quad (i = j = k = l = x, y, z). \quad (2.25)$$

Homogén anyagot feltételezve az anyagi állandók száma 2 (ν kifejezhető E -vel és G -vel; az összefüggés kiírásától eltekintünk).

$$\begin{aligned} \sigma_{\kappa\kappa} &= E(\epsilon_{\kappa\kappa} - \nu \epsilon_{\kappa+1\kappa+1} - \nu \epsilon_{\kappa+2\kappa+2}), \quad (\kappa = x, y, z), \\ \sigma_{\kappa\lambda} &= 2G \epsilon_{\kappa\lambda}, \quad (\kappa \neq \lambda, \kappa = \lambda = x, y, z). \end{aligned} \quad (2.26)$$

Az anyagi állandók meghatározására éppen két eltérő kísérleti elrendezés állítható fel: az elemi téglatest egyirányú nyúlása az E nyúlási (rugalmassági) együttható meghatározására, és az elemi téglatest szögváltozása a (körhenger alakú rúd csavarása) a G nyírási (rugalmassági) együttható meghatározására.

2.5. Kezdeti és peremfeltételek

Külön vizsgáljuk a kezdeti és peremfeltételeket.

A kezdeti feltételt a test minden pontjában (beleérte a peremét is) értelmezünk: a test minden pontjában előírjuk a mechanikai állapotot jellemző összes mező (eltolódás, alakváltozás, feszültség) értékét.

Kétféle peremfeltételt szokás elkülöníteni

Előírt eltolódások: elsősorban a test rögzített pontjainak mozdulatlanságát írja elő, esetenként kinematikai terhet.

3. *Megjegyzés.* A fenti megállapítás az eltolódásmódszer esetén igaz. Feszültségmódszer esetén további peremfeltételekre van szüksége, amelyeket az összeférhetőségi mező-egyenlet egy csoportja szolgáltat (lásd LÁMER [20]).

Előírt felületi megoszló terhelés: azt adja meg, hogy a test felületét milyen mechanikai hatás éri.

3. A KLASSZIKUS KONTINUUM ÁLTALÁNOSÍTÁSA: A MIKROPOLÁRIS KONTINUUM

3.1. A klasszikus kontinuum általánosításának indítékai és lehetőségei

A klasszikus kontinuum elméletét párhuzamba szokták állítani az anyagi pont elméletével. Az anyagi pont kinematikai szabadságfoka az eltolódásvektor, az anyagi pont mozgását az arra ható erővektor határozza meg. A klasszikus kontinuum minden pontjának kinematikai szabadságfoka az eltolódásvektor, a klasszikus kontinuum minden pontjának mozgását (alakváltozását) egy pontban három felülethez köthető „erővektorok” alkotta feszültségtenzor határozza meg. A merev test kinematikai szabadságfoka egyidejűleg az eltolódásvektor és az elfordulásvektor, a merev test mozgását az arra ható erővektor és nyomatékvektor együttesen határozza meg. Azt váránk, hogy az általánosított kontinuum minden pontjának kinematikai szabadságfoka egyidejűleg egy eltolódásvektor és egy elfordulásvektor, míg az általánosított kontinuum minden pontjának mozgását (alakváltozását) egy pontban három felülethez köthető „erővektorok” alkotta feszültségtenzor és „nyomatékvektorok” alkotta „nyomatéki feszültségtenzor” határozza meg.

A klasszikus kontinuum általánosítását ERINGEN [21] alapján tekintjük át (az oldalszámok és a képletek számai az orosz kiadásra vonatkoznak). Az általánosítás utáni megjegyzésben jelezzük, hogy matematikai szempontból melyik lépés van ellentmondásban az alkalmazott matematikai apparátussal.

A klasszikus kontinuum általánosítása az alábbi elvekre épül.

- *Geometriai interpretáció:* merev (esetleg deformálható) részecskék beágyazása a háromdimenziós euklideszi tér egy tartományába; továbbra is a háromdimenziós Euklideszi térben maradunk.
- *Dinamika interpretáció:* nyomatéki feszültségtenzor értelmezése, a feszültségtenzor aszimmetrikus.
- *Anyagi interpretáció:* az anyagi viselkedés leírására a klasszikus kontinuum energia megmaradás elvét általánosítása a mikropoláris alakváltozás nyomatéki feszültségre.

A fentieket figyelembe véve az általánosított kontinuum, hasonlóan a klasszikus kontinuumhoz, a deformálható szilárd test mechanikai viselkedését leíró modellként négy főbb részből áll: kinematika, dinamika, anyagi viselkedés, kezdeti és peremfeltételek.

3.2. Kinematika

Az általánosított kontinuum kinematikai leírásához a klasszikus kontinuum fogalmait és összefüggéseit következőképpen „általánosítjuk”, bővítjük.

A vizsgált test modellje. A kiinduló alap már nem az atomi-molekuláris felépítésű anyag, hanem a belső struktúra nélküli Euklideszi tér, azaz a klasszikus kontinuum. Ebbe a kontinuumba, ugyancsak Euklideszi struktúrával bíró, mechanikai szempontból merev (esetenként deformálható szilárd) testnek tekinthető szemcséket, mikroelemeket ágyazunk be, és az így létrehozott „tér” egy tartományát vizsgáljuk.

A tér geometriai szerkezete.

A tér geometriai szerkezete nem változik, hiszen Euklideszi térben vagyunk. Az eltérés annyi, hogy a helyvektort két függetlenül értelmezett koordináta-rendszerben bevezetett két helyvektor összegeként értelmezzük. A beágyazó térbeli koordináta-rendszer kezdőpontjából a mikrorész súlypontjába mutat a beágyazó térbeli helyvektor, továbbá a mikrorész tet-szöleges pontjába a mikrorész súlypontjából (az ott értelmezett koordináta-rendszer kezdőpontjából) mutató mikrohelyvektor. Végezetül a mikroelem egy pontjának a helyvektorát kettéhasítjuk két helyvektor összegére: a mikrorész súlypontja helyvektorának és a mikrorész súlypontjától a mikroelem pontjáig mutató mikrohelyvektor összegére. A leírás során feltesszük, hogy mikroelem alakváltozása affín (lineáris).

A szakirodalom szerint van mikrorész, ennek van mikrotérfogata, és ezzel a térfogattal tartana nullához. Ebben a mikrotérfogatban vannak beágyazva a szemcsék.

4. *Megjegyzés.* 1. Ha a határátmenet végrehajtjuk, akkor a szemcsék feloldódnak a pont-halmazban, annak affín alakváltozása nem értelmezhető. Ha nem hajtjuk végre a határátmenetet, akkor a mikrorész súlypontjában értelmezett mennyiségek értelmezési tartománya véges számú pont, ezen a halmazon a differenciálás nem hajtható végre.

A mikroelemeket az α ($\alpha = 1, 2, 3, \dots, n$) futó index-szel különböztetjük meg (ERINGEN [21]; p. 656, képlet (2.18)):

$$\mathbf{x}^{(\alpha)} = \mathbf{x}(\mathbf{X}, t) + \chi_K(\mathbf{X}, t) \Xi_K^{(\alpha)}. \quad (3.1)$$

Itt

- $\mathbf{x}^{(\alpha)}$ – az α sorszámú mikroelem vizsgált pontjának helyvektora a deformált állapotban,
- $\mathbf{x}(\mathbf{X}, t)$ – a vizsgált mikroelem súlypontjának koordinátája a deformált állapotban, mint a deformálatlan állapotbeli \mathbf{X} koordináta és a t idő függvénye,
- $\Xi_K^{(\alpha)}$ – az α sorszámú mikroelem vizsgált pontjának helyvektora K -adik koordinátája a mikroelem súlypontjától,
- $\chi_K(\mathbf{X}, t)$ – az α sorszámú mikroelem affín alakváltozását leíró, a K -adik irányhoz tartozó függvénye ($\chi(\mathbf{X}, t)$) másodrendű tenzor).

5. *Megjegyzés.* Az (1) összefüggés matematikai értelemben azt fejezi ki, hogy a helyvektor meghatározásához minden α sorszámú mikroelem vizsgálatához alkalmazzuk egy-részt az $\{\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3\}$ bázisrendszert, amely az Euklideszi tér egészének leírásához használatos, másrészt mikroelemenként egy-egy további, a $\{\Xi_1^{(\alpha)}, \Xi_2^{(\alpha)}, \Xi_3^{(\alpha)}\}$ bázisrendszert alkalmazunk. Az (1) összefüggésben burkoltan $(n + 1)$ háromméretű bázis szerepel (hiszen α 1-től n -ig veszi fel az értékét). Mivel a térük háromdimenziós, matematikailag korrekt eljárás az lenne, ha a $\{\Xi_1^{(\alpha)}, \Xi_2^{(\alpha)}, \Xi_3^{(\alpha)}\}$ bázisrendszer elemeit kifejeznénk az $\{\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3\}$ bázisrendszer elemivel. Ez a megjegyzés mindegyik kinematikai összefüggésre vonatkozik.

A metrikus tenzor meghatározásához tekintsük a helyvektor differenciálját (ERINGEN [21]; p. 656, képlet (3.1)),

$$d\mathbf{x}^{(\alpha)} = (\mathbf{x}_{,K} + \chi_{L,K} \Xi_L^{(\alpha)}) dX_K + \chi_K d\Xi_K^{(\alpha)}, \quad (3.2)$$

illetve az ívelem négyzetét (ERINGEN [21]; p. 656, képlet (3.4)):

$$\begin{aligned} (ds^{(\alpha)})^2 = & (x_{k,K} x_{k,L} + 2x_{k,K} \chi_{kL,M} \Xi_M^{(\alpha)} + \chi_{kM,K} \chi_{kN,L} \Xi_M^{(\alpha)} \Xi_N^{(\alpha)}) dX_K dX_L + \\ & + 2(x_{k,K} \chi_{kL} + \chi_{kM,K} \chi_{kL} \Xi_M^{(\alpha)}) dX_K d\Xi_L^{(\alpha)} + \chi_{kK} \chi_{kL} d\Xi_K^{(\alpha)} d\Xi_L^{(\alpha)}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

A (3) összefüggés rámutat arra, hogy a metrikus tenzor, minden mikorelem esetében, felhasad három részre: makro×makro, makro×mikro = mikro×makro, mikro×mikro):

$$(ds^{(\alpha)})_{MM}^2 = (g_{KL})_{MM} dX_K dX_L + 2(g_{KL})_{Mm} dX_K d\Xi_L^{(\alpha)} + (g_{KL})_{mm} d\Xi_K^{(\alpha)} d\Xi_L^{(\alpha)}, \quad (3.4)$$

ahol a nagy M a makro, a kis m a mikro jelzőre utal.

6. *Megjegyzés.* 1. Az (2-4) összefüggések matematikai értelemben azt fejezik ki, hogy a háromdimenziós metrikus tenzor elemeit $(3n+1) \times (3n+1)$ elemből állítjuk össze. A tér továbbra is háromméretű, tehát a metrikus tenzornak kilenc eleme van, bár a (3.4) alapján legkevesebb $6 \times 6 = 36$ elemmel kellene számolni (minden α esetében). 2. Mivel az \mathbf{x} vektort a mikrorész súlypontjában értelmeztük, ezért az értelmezést adó pontok száma véges (éppen annyi, ahány α van). A véges számú pontban való értelmezési tartomány miatt az \mathbf{x} vektor a térkoordináták szerint nem differenciálható. 3. Határátmenettel a véges számú pontból kontinuum számoságú pont nem állítható elő. Ugyanis a kontinuum hipotézisről bebizonyították, hogy független a korábbi axiómáktól. A matematikus közösség úgy döntött, hogy a véges és megszámlálható végtelen számosság után a következő számosság a kontinuum számosság. Ha levezethető lenne akárhogyan is véges, vagy megszámlálható elemből kontinuum számoságú halmaz, akkor nem lenne független a korábbi axiómáktól. 4. A határátmenet pontthalmazon értelmezett függvény egy-egy határhelyzetű pontban felvett értékének kiszámítására vonatkozik, és nem kontinuum számoságú pontthalmaz elemeinek előállítására.

A szakirodalomban a Christoffel-Riemann-féle háromindexes szimbólumok, és a Riemann-féle görbületi tenzor felírása elmarad.

A vizsgált test alakja megváltozását leíró matematikai mennyiségek.

Eltolódásvektor(mező): az általánosított kontinuum vizsgált tartománya minden pontjához hozzárendelünk egy eltolódásvektort, amely két részből áll: a makro-eltolódásból és mikro-eltolódásból. Ez utóbbit a mikroelem alakváltozásával értelmezi. Az összefüggés (ERINGEN [21]; p. 658, képlet (3.18)):

$$\mathbf{u}^{(\alpha)} = \mathbf{u} + \xi - \Xi = \mathbf{u} + \boldsymbol{\varphi} \Xi. \quad (3.5)$$

Itt $\boldsymbol{\varphi}$ az α sorszámú mikroelem affin alakváltozását leíró tenzor; leírhatja a koordináta-rendszer merevtestszerű forgását, a koordinátavonalak által közrezárt szögek változását, valamint a koordinátavonalak nyúlását, illetve mindhármát egyszerre.

7. *Megjegyzés.* Az eltolódásvektor továbbra is háromméretű vektor, csak két tagból állítjuk elő.

Alakváltozás(mező): az eredeti és a megváltozott metrika segítségével értelmezzük az alakváltozási mezőt. A makro és mikro mozgások értelmezésével összhangban három alakváltozási tenzort értelmeznek a szakirodalomban. Az alakváltozási tenzor „szerkezete”: deformált és a deformálatlan állapotbeli metrikus tenzor különbségének a fele (ERINGEN [21]; p. 659, képlet (3.30-31-32)).

$$e_{kl} = (u_{k,l} + u_{l,k}) / 2, \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_{kl} = (\varphi_{kl} + u_{l,k}), \quad (3.7)$$

$$\gamma_{klm} = -\varphi_{kl,m}. \quad (3.8)$$

Itt

- e** – a makro-alakváltozás tenzora,
- ε** – a mikropoláris alakváltozás (másodrendű) tenzora,
- γ^{3t}** – a mikropoláris alakváltozás harmadrendű tenzora.

8. *Megjegyzés.* 1. A tér háromméretű, ekkor (6) összefüggés adja az alakváltozást. 2. A tér dimenziószámától függetlenül a metrikus tenzor szimmetrikus, ezért az alakváltozási tenzornak is szimmetrikusnak kell lennie; ez a mikropoláris másodrendű alakváltozási tenzorra nem teljesül. 3. A differenciálgeometria metrikus tenzorként másodrendű tenzort értelmez, ezért harmadrendű alakváltozási tenzor nem léphet fel. 4. Az **u** vektor, hasonlóan az **x** vektorhoz nem differenciálható a mikroelem súlypontjában, lásd az alakváltozások után tett 6.2. *Megjegyzést*.

A szakirodalomban értelmezik a forgásokat. A makro és mikro mozgások értelmezésével összhangban három forgásvektort értelmeznek a szakirodalomban (ERINGEN [21]; p. 664, képlet (4.38-39-40))

$$r_m = (u_{l,k} - u_{k,l}) / 2, \quad (3.9)$$

$$\boldsymbol{\varphi} = \varphi_x \mathbf{i} + \varphi_y \mathbf{j} + \varphi_z \mathbf{k}, \quad (3.10)$$

$$\gamma_m = ([\varphi_{k,k} + \varphi_{l,l}] / 2) \xi_m - \varphi_{m,k} \xi_k - \varphi_{m,l} \xi_l, \quad (3.11)$$

$$(k \rightarrow l \rightarrow m \rightarrow k; k = l = m = x, y, z).$$

Itt

- r** – a makroforgások vektora,
- φ** – a mikroforgások vektora,
- γ^v** – a miniforgások vektora.

9. *Megjegyzés.* 1. A tér háromméretű, ekkor (9) összefüggés adja az „elfordulást”. 2. Mivel az elméletben az **u** vektort az **x** vektorhoz kötődik, ezért az **u** vektor nem differenciálható a mikrorész súlypontjában, lásd a 6.2. *Megjegyzést*. 3. A mikroforgások a mikrorészre vonatkoztatott összefüggések, ezek geometriailag értelmezhetők. 4. A miniforgások nem értelmezhetők, mert nincs olyan geometriai objektum, ami a mini-elemnek felelne meg: van makroelem – (9) képlet, van mikroelem – (10) képlet, több elemet a szakirodalom nem értelmez. Tehát a szakirodalom adós azzal, hogy mi az, ami forog a miniforgás megnevezés alatt. 5. Egy ferdén szimmetrikus tenzor nem forog, hanem ferdén szimmetrikus tenzor vektor-reprezentánsára merőleges síkba vetít, és 90 fokkal forog (RÓZSA [22], pp. 177-178).

A szakirodalomban a Christoffel-Riemann-féle háromindexes szimbólumok, és a Riemann-féle görbületi tenzor megváltozásának felírása elmarad.

A szakirodalomban megadják az egyes alakváltozások és forgásvektorok geometriai jelentését (ERINGEN [21]; p. 665, képlet (5.1))

$$d\mathbf{x}^{(\alpha)} = d\mathbf{x} + d\mathbf{y} + d\mathbf{z}, \quad (3.12)$$

amelyben (ERINGEN [21]; p. 664, képlet (5.2-3-4))

$$d\mathbf{x} = d\mathbf{X} - d\mathbf{X} \times \mathbf{R} + \mathbf{E}d\mathbf{X}, \quad (3.13)$$

$$d\mathbf{y} = -d\mathbf{X} \times \mathbf{\Gamma}^v + \mathbf{\Gamma}^{2t} d\mathbf{X}, \quad (3.14)$$

$$d\mathbf{z} = d\mathbf{\Xi} - d\mathbf{\Xi} \times \mathbf{\Phi}. \quad (3.15)$$

A (12) összefüggés egyes összetevőit a következőképpen értelmezi a szakirodalom.

$d\mathbf{x}$ a klasszikus kontinuumból ismert eltolódásvektor, amely három tagból áll, a $d\mathbf{X}$ eltolódásból, a $d\mathbf{X} \times \mathbf{R}$ elfordulásból és az $\mathbf{E}d\mathbf{X}$ alakváltozásból (ERINGEN [21]; p. 665.).

$d\mathbf{y}$ az $\mathbf{x} + \xi$ helyvektorú ponthoz kötött paralelogramma átlója, amelyben az \mathbf{R} makro-forgások vektora helyett a $\mathbf{\Gamma}^v$ miniforgások vektora, az \mathbf{E} makro-alakváltozások tenzora helyett a $\mathbf{\Gamma}^{3t}$ mikropoláris alakváltozás harmadrendű tenzorából és a beágyazott részecskén belüli $\mathbf{\Xi}$ helyvektorból képezett $\mathbf{\Gamma}^{2t} = \mathbf{\Gamma}^{3t}\mathbf{\Xi}$ másodrendű alakváltozási tenzor szerepel; szakirodalom alapján „a deformálatlan mikroelemen $\mathbf{\Xi}$ mikro-helyvektorú pontban a mikroelem kiegészítő forgást, szögváltozást és alakváltozást szenved el” (ERINGEN [21]; p. 667. utolsó bekezdés, p. 668. első bekezdés).

$d\mathbf{z}$ az $\mathbf{x} + \xi$ helyvektorú ponthoz kötött paralelogramma átlója, amely geometriai változását $d\mathbf{\Xi}$ mikrohelyvektor-növekmény mikroforgása adja (ERINGEN [21]; p. 668 második bekezdés).

10. Megjegyzés. 1. A $d\mathbf{x}$, az \mathbf{x} helyvektorhoz kötött $d\mathbf{X}$ átlójú paralelopipedonra, a $d\mathbf{y}$ és a $d\mathbf{z}$ $\mathbf{x} + \xi$ helyvektorú ponthoz kötött $d\mathbf{X}$ átlójú, illetve $d\mathbf{\Xi}$ átlójú paralelopipedonokra vonatkozik. Két különböző pontban értelmezett három átlót nem lehet összegezni. 2. A bevezetett $\mathbf{\Gamma}^v$ miniforgás és a mikroelem $\mathbf{\Phi}$ kiegészítő forgás differenciálgeometriailag nem értelmezhető: az eltolódás gradiens tenzora felbontható egy alakváltozást leíró és egy merevtestszerű forgást leíró részre (ez a poláris felbontás), de a (14-15) összefüggések (13) analógiájára íródtak fel, és nem a poláris felbontást felhasználva. Ugyanis, ha a poláris felbontást használnánk, akkor a tér három mérete folytán csak a (13) egyenletet kapnánk.

3.3. Dinamika

Az általánosított kontinuum dinamikai leírásához az alábbi fogalmakat és összefüggéseket alkalmazzuk.

Feszültség. Ez megegyezik a klasszikus kontinuumnál írtakkal.

Nyomatéki feszültség. Analóg a feszültséghez, a testet kettéosztó (a kettéosztás szempontjából belső) felületen, annak is (a felület irányítása szempontjából külső) \mathbf{n} normálisú felületén legyen adott a felületen értelmezett \mathbf{m}_n mennyiség, amelyet ha kicsiny, de véges nagyságú felületen összegzünk (integráljuk), akkor végeredményben koncentrált nyomatékot (nyomatékvektort) kapunk (ERINGEN [21]; p. 702-703):

$$\int_{\Delta A} \mathbf{m}_n dA = \mathbf{M}_{n, \Delta A}. \quad (3.16)$$

Az így bevezetett \mathbf{m}_n mennyiséget nevezzük nyomatéki feszültségvektornak. A nyomatéki feszültségvektort, hasonlóan a feszültségvektorhoz, a felületelemhez kötjük: a nyomatéki feszültség függ a felület irányításától. Ugyanakkor a nyomatéki feszültségvektor függ attól a ponttól, amely pont környezetében értelmezzük a nyomatéki feszültségvektort.

11. Megjegyzés. 1. Az elsődleges mennyiség az erő. A nyomaték másodlagos mennyiség: a nyomaték erő és a hozzá tartozó erőkar vektoriális szorzata, irányított terület. Nem egyszerűen egy erő, hanem egy erő és egy pont, vagy egy egyenes együtteséhez rendelhető nyomaték. Egy és ugyanazon ponthoz nem lehet egyszerre erőt és erőkart, vagy területet rendelni, mert a pont kiterjedése nulla, azaz az erőkar, illetve az irányított terület nagysága

nulla. 2. A nyomatékot már eleve egy „szétkent” objektumon, az általánosított kontinuum ponthalmazán értelmezi a szakirodalom. Nem köti sem a mikrorészhez, sem a mikroelemekhez, bár az alakváltozások ismertetése során ezeket a kapcsolatokat felhasználja és bemutatja. Ezért nem világos, hogy mi a kapcsolat a mikroelemek a nyomatéki feszültség-tenzor között. Pontosabban fogalmazva nincs kapcsolat a mikroelemek és nyomatéki feszülségtenzor között. 3. Az elmélet kinematikai részében a szakirodalom három alakváltozást és három forgást értelmez. Azt várnók, hogy ezzel analóg módon három feszültséget fog értelmezni. Például a (12) összefüggés alapján a három paralelopipedon felületéhez rendelhetne egy-egy feszültségtenzort.

Egy elemi tetraéder egyensúlyának vetületi egyenlete. Ha a klasszikus kontinuumnál ismertetett módon járunk el, végeredményben megkapjuk, hogy a feszültségkomponensek egy pontban (másodrendű) *tenzoriális* mennyiséget alkotnak; lásd a (2.22) összefüggést.

Egy elemi tetraéder egyensúlyának nyomatéki egyenlete. A nyomatéki egyensúlyi egyenleteket, hasonlóan a klasszikus kontinuumban alkalmazott módszerhez, a tetraéder átfogó lapjának súlypontján áthaladó koordinátavonalakra írjuk fel. Az elemi tetraéder egyensúlya nyomatéki egyenleteinek felírása során nem csak a tetraéder felületeire ható feszültségvektorokat, de a nyomatéki feszültvektorokat is figyelembe kell venni. Formálisan ugyanolyan összefüggést nyerünk a nyomatéki vektorokra, mint a feszültségvektorokra, azzal a különbséggel, hogy az egyenletekben fellépnek a feszültségtenzor nyírófeszültség adta nyomatékok is (az x tengelyre vett nyomatéki egyenletet írjuk fel):

$$m_{nx} = m_{xx}l_1 + m_{yx}m_1 + m_{zx}n_1 + (\sigma_{yz} - \sigma_{zy})l_1\Delta x / 3. \quad (3.17)$$

Ez utóbbi nyomatékokban egyszerre szerepel a felület mérete és az erő karja. Ezért a tetraéder átfogó lapjának területével való osztás után ugyan a nyírófeszültségekhez hozzárendelhető egy iránykoszinusz (mi l_1 -et rendeltünk mindkettőhöz), de szerepel az elemi tetraéder egyik koordinátavonalba eső éle is (itt Δx). Ezen élhosszúság miatt a (17) utolsó tagja egy nagyságrenddel kisebb, mint a nyomatéki feszültségek szorozva az iránykoszinuszokkal. Ezért ez a tag elhanyagolható. Következésképpen a három nyomatéki vektor kilenc komponense egy másodrendű tenzort alkot.

Az eljárással sem a feszültségtenzorról, sem a nyomatéki feszültségtenzorról további információ nem nyerhető. Ennek megfelelően úgy tekintjük, hogy mind a két tenzor nem szimmetrikus (lásd még ERINGEN [21]; p. 703-706).

Egy elemi téglatest egyensúlyának vetületi egyenletei. Ebben az esetben is a klasszikus kontinuumnál nyert egyenletet kapjuk, lásd a (2.24) összefüggést.

Egy elemi téglatest egyensúlyának nyomatéki egyenletei. A klasszikus kontinuumban alkalmazott eljárást követve, az elemi téglatest egyensúlya nyomatéki egyenletekben nem csak a nyomatéki feszülségtenzor komponensei, hanem a feszültségtenzor nyírófeszültségkomponensei is szerepelnek (mivel a felületet az elemi téglatest két éle, a differenciált a harmadik éle adja nyomatéki feszültség esetén, a feszültség esetén a felület mellett szerepel az erőkar, mint harmadik differenciál).

Az egyensúlyi egyenlet a szakirodalomban (ERINGEN [21]; p. 709, képlet (17.21)).

$$\frac{\partial m_{x\kappa}}{\partial x} + \frac{\partial m_{y\kappa}}{\partial y} + \frac{\partial m_{z\kappa}}{\partial z} + \sigma_{\kappa+1\ \kappa+2} - \sigma_{\kappa+2\ \kappa+1} + M_{\kappa} = 0, \quad (\kappa = x, y, z). \quad (3.18)$$

Maga a nyomatéki egyensúlyi egyenlet azt fejezi ki lokálisan, hogy a nyomatéki feszültségtenzor divergenciavektora, a feszültségtenzor aszimmetrikus részéből képzett vektor és a térfogati nyomatékok vektora együttesen egyensúlyban vannak a test (a kontinuum) minden pontjában.

12. *Megjegyzés.* Az egyensúlyi egyenletek kapcsán rá kell mutatni arra a tényre, hogy a „harmadik” feszültségi tenzorra nézve nem lenne egyensúlyi egyenlet: a mechanika csak vetületi és nyomatéki egyenleteket ismer.

3.4. Anyagi egyenletek

Az általánosított kontinuum anyagi viselkedésének leírásához az alábbi fogalmakat és összefüggéseket alkalmazzuk.

A szakirodalom elsősorban a rugalmas viselkedést tárgyalja. A továbbiakban erre korlátozzuk a vizsgálódásainkat.

A szakirodalom a klasszikus kontinuumhoz hasonlóan, az energia megmaradása elvén keresztül értelmezi a feszültség és a nyomatéki feszültség munkáját; amelyben eleve szeparálja a makro-alakváltozás és a feszültség, illetve a mikro-alakváltozás és a nyomatéki feszültség energiát-adó párt; a kinematikai változók idő szerinti deriváltjai (ERINGEN [21]; p. 685, képlet (11.1) és p. 710, képlet (11.19)):

$$v_k = \dot{x}_k, \quad v_k = \dot{\phi}_k. \quad (3.19)$$

A kinetikai energia és külső erők munkája: (ERINGEN [21]; p. 710, képlet (18.2) és (18.4))

$$K = \int_V \rho(v_k v_k + j_{kl} v_k v_l) dv, \quad (3.20)$$

$$W = \int_S (t_{lk} v_k + m_{lk} v_k) da_l + \int_V \rho(f_k v_k + l_k v_k) dv. \quad (3.21)$$

13. *Megjegyzés.* Azt várnók, hogy a mikroelemre vonatkozó energia tagokat a mikroelemeken kell értelmezni és összegezni (integrálni). Az összefüggés már eleve a háromdimenziós kontinuumra vonatkozik. Amennyiben áttérünk a háromdimenziós Euklideszi térre, úgy a mikrorész és a mikroelem mérete nullává válik, és a mikroelemhez kötött mennyiségek zérussá válnak; a fenti egyenletek elveszítik azt a matematikai tartalmat, ami mikroelemhez fűzi.

A szakirodalom összefüggéseket ad meg a mikropoláris alakváltozástenzor kilenc komponense és a feszültségtenzor kilenc komponense között (ERINGEN [21]; p. 716, képlet (20.14)),

$$\sigma_{kl} = A_{klmn} \varepsilon_{mn}, \quad (k = l = m = n = x, y, z). \quad (3.22)$$

valamint a mikropoláris alakváltozás harmadrendű tenzora kilenc nem zérus komponense és a nyomatéki feszültségtenzor kilenc komponense között (ERINGEN [21]; p. 716, képlet (20.15)),

$$m_{kl} = B_{klmn} \varphi_{m,n}, \quad (k = l = m = n = x, y, z). \quad (3.23)$$

14. *Megjegyzés.* Az elmélet kinematikai részében a szakirodalom három alakváltozást értelmez. A (22,23) anyagi egyenletek csak két alakváltozási tenzor tartalmazznak. A 11.3. *Megjegyzés* értelmében azt várnók, hogy ezzel analóg módon három feszültséget fog értelmezni a szakirodalom pontosan azért, hogy az egyes alakváltozási és feszültségi tenzorok „párban” legyenek.

A fenti két összefüggésben, (22,23), általánosságban $2 \times 9 \times 9 = 162$ együttható szüksé-

ges. Homogén anyagot feltételezve az anyagi állandók száma 2×3 (ERINGEN [21]; p. 716, képlet (20.20-21)).

$$\sigma_{kl} = \lambda \varepsilon_{rr} \delta_{kl} + (\mu + \kappa) \varepsilon_{kl} + \mu \varepsilon_{lk}, \quad (3.24)$$

$$m_{kl} = \alpha \varphi_{r,r} \delta_{kl} + \beta \varphi_{k,l} + \gamma \varphi_{l,k}. \quad (3.25)$$

15. Megjegyzés. 1. Az anyagi állandók meghatározására a klasszikus kontinuumban két eltérő kísérleti elrendezés állítható fel (húzás-nyomaték, csavarás); lásd ott. A szakirodalom a mikropoláris anyagot jellemző hat paraméter meghatározására kísérleti elrendezést nem ismertet. 2. A háromméretű tér differenciálgeometriából következik, hogy egy elemi téglatestnek hat független alakváltozási formája lehet: a metrikus tenzor hat független komponensével összhangban három nyúlás és három szögváltozás. Tehát a „határátmenetben” háromdimenziósra visszavezetett általánosított kontinuum esetén elviekben sem lehetséges olyan kísérleti elrendezés, amely a beágyazott szemcsének – mikroelemeknek – az anyagi viselkedést visszatükrözzé. 3. Olyan kísérleti elrendezés szükséges, amely a beágyazott szemcsék léptékében végez mérést. Erre elsősorban a rácsrezgések alkalmasak. 4. KUNYIN [8] megmutatja, hogy az általánosított kontinuum elmélete az optikai rezgéshez (egymásra mozuló szemcsék esete) kapcsolódó jelenséget írja le, amely jelenség a kontinuumban (amelyben a folytonosság okán két „szomszédos” pont csak kollektív elmozdulása lehetséges) nem mutatható ki.

3.5. Kezdeti és peremfeltételek

Az általánosított kontinuumban is elő kell írni a kezdeti és a peremfeltételeket.

A kezdeti feltételt a test minden pontjában (beleérte a peremét is) értelmezzük: a test minden pontjában előírjuk a mechanikai állapotot jellemző összes mező (eltolódás és mikroeltolódás, különböző alakváltozások és elfordulások, feszültség és nyomatéki feszültség) értékét.

Kétféle peremfeltételt szokás elkülöníteni

Előírt eltolódások és mikroeltolódások: elsősorban a test rögzített pontjainak mozgatlanságát írja elő, esetenként kinematikai terhet.

16. Megjegyzés. A fenti megállapítás a klasszikus kontinuumhoz hasonlóan az „eltolódásmódszer” esetén igaz. „Feszültségmódszer” esetén további peremfeltételekre lenne szükség, amely az összeférhetőségi mezőegyenlet egy csoportja szolgáltat (lásd LÁMER [20]). (Az idézőjel arra vonatkozik, hogy kétféle eltolódás és kétféle feszültség létezik.)

Előírt felületi megoszló erő és nyomatéki terhelés: azt adja meg, hogy a test felületét milyen mechanikai hatás éri.

17. Megjegyzés. 1. Formálisan peremfeltételek és kezdeti feltételek minden parciális differenciálegyenlet-rendszerhez hozzárendelhetők. Sem a kinematika, sem a dinamika esetén nem világos, hogy az általánosított kontinuumban milyen adatot kell mérni és feltételként megadni. Erre vonatkozóan adat a szakirodalomban nem lelhető fel. 2. KUNYIN [8] megmutatja meg, hogy mesterséges belső szerkezet, illetve rácszegés esetén hogyan lehet a kísérleti és az elméleti eredményeket összevetni. Emlékeztetőül: KUNYIN az általánosított kontinuumot *rácskontinuumnak*, az elméletet *mikroszerkezettel bíró közeg rugalmasságtalanának* nevezi.

3.6. Az általánosított kontinuum kritikája

Az általánosítás nem triviális, hiszen néhány elemi matematikai tény ellentmond annak, hogy az általánosítást matematikailag korrekt módon vége lehessen hajtani. Ezek az el-

löntmondások a következők.

Pont esetén nem értelmezzük annak elfordulását.

Egy pontban nem értelmezhető nyomatók, azaz erőerőkar.

A ponthoz rögzítendő kísérő triéder: egy ponthoz nem, legkevesebb négy ponthoz lehet egy kísérő triédert rögzíteni. Ezért a kontinuum általánosításához az anyagot belső szerkezettel ruházzák fel. Felteszik, hogy az anyagba kisebb részecskék, elemi merev testek, mikroelemek ágyazódnak be. Ezért maga az anyag belső szerkezettel bír. A belső szerkezet miatt a beágyazott mikroelemek helyén beágyazó tér koordinátái szerint a differenciálás nem végezhető el.

Az elemi felületen értelmezett feszültségvektorokkal analóg módon nyomatóki vektorokat vezetnek be. Ebben az esetben két másodrendű tenzor, a feszültségtenzor és a nyomatóki feszültségtenzor adja meg az általánosított kontinuum belső „erőit”. Ez 2×9 ismeretlen mennyiség. Az alakváltozás értelmezése során egy 6×6 elemű, szimmetrikus tenzort értelmeznek, így a kinematikai ismeretlenek száma 21. Az eltérő számú ismeretlen mennyiségeket – az anyagi egyenletek kapcsán – összhangba kell hozni.

Az alapanyagba (makrokontinuum) beágyazott elemi merev testek (mikroelemek) és a nyomatóki feszültség között nincs kapcsolat.

A klasszikus kontinuumban egy elemi kockának kétszer három független alakváltozási formája értelmezhető, kísérletek során ezek mérhetők ki. Ezek a három tengely irányában egy-egy relatív nyúlás, és két-két tengely által közrezárt szög megváltozása, amelyből szintén három van. Ezek egyúttal összhangban vannak az értelmezett belső erővel, a szimmetrikus feszültségtenzor komponenseivel. Egy elemi felületen ható erőnek az elemi felület eltolódásán végzett munkáját alapul véve megmutatható, hogy a klasszikus kontinuumban a belső erők által végzett munka kifejezhető a feszültségnek az alakváltozáson végzett munkájával (matematikailag: a kettő szorzatával). Az általánosítás során a szöveget egy mikroelemhez, a feszültséget és a nyomatóki feszültséget viszont a test minden pontjához rendeljük hozzá, ezért csak áttételesen értelmezhető a nyomatóknak a szögforgáson végzett munkája. Az itt fellépő „nehézséget” rendszerint úgy „oldják fel”, hogy a klasszikus kontinuum Lagrange-függvényével analóg módon értelmezzük az általánosított kontinuum Lagrange-függvényét. Ebből a szempontból az elmélet már hipotetikus, hiszen az elmélet ellenőrzésére akkor nyílik mód, ha a számítások eredményét és a kísérleti eredményeket vetünk össze. Ez utóbbit viszont igen nehéz megtenni, mivel az általánosított kontinuum esetében nincsenek kimért anyagi állandók és nincsenek kísérleti eredmények.

Matematikai szempontból a felvetett nehézségek – ellöntmondások – nincsenek „kezelve”: az elmélet kidolgozása során olyan megoldásokat alkalmaztak, amelyek nem veszik tudomásul, hogy néhány matematikai feltétel, összefüggés nem teljesül maradéktalanul.

4. AZ ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÁLTALÁNOSÍTÁSA: AZ ALGORITMUS ISMÉTELT ALKALMAZÁSA

4.1. Az általánosítás átfogalmazása algoritmikus formába

Az általánosítás jobb megértése céljából kiemeljük az általánosítás lényegét, és az általánosítás általánosításához olyan jelölést választunk, hogy az általánosítás következő lépésében ne kelljen az abc újabb és újabb betűit igénybe venni.

Az általánosítás kinematika alapja, hogy a helyvektort két részre bontjuk. A klasszikus kontinuumra vonatkozó tagot nulladik közelítésnek, a beágyazott mikro-szemcsén belüli pontok helyzetére vonatkozó mikro-helyvektort az első közelítésnek tekintjük. A felírás során a makro-kontinuumban és mikro-kontinuumban két különböző koordinátarendszert alkalmazunk. Ezt a két koordinátarendszert is úgy fogjuk fel, hogy nulladik és első koordi-

nátarendszer, az erre utaló index kitesszük. Ezt figyelembe véve a helyvektor az alábbi két összetevőre bontjuk fel oly módon, hogy az első tag az „alapkontinuumba” vonatkozik, a második az „alapkontinuumba” beágyazott „szemcsékre” vonatkozik. Az általánosított kontinuum esetén azt tételezzük fel, hogy a beágyazott szemcsék koordinátái a beágyazó térhez kötött affin transzformációt írja le. Tehát az affin transzformáció az „alapkontinuum” koordinátáitól függ, a szemcsé koordinátái pedig ezektől „függetlenek”.

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}^0(q^1, q^2, q^3) + \mathbf{A}^0 \left(\mathbf{r}^0(q^1, q^2, q^3) \right) \cdot \mathbf{r}^1 \left(q^1, q^2, q^3 \right). \quad (4.1)$$

A bázisvektorokat formálisan a helyvektor differenciálásával nyerjük:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i^0(q^1, q^2, q^3) + \mathbf{A}_i^0 \left(\mathbf{r}^0(q^1, q^2, q^3) \right) \mathbf{r}_i^0(q^1, q^2, q^3) \cdot \mathbf{r}^1 \left(q^1, q^2, q^3 \right) + \\ + \mathbf{A}^0 \left(\mathbf{r}^0(q^1, q^2, q^3) \right) \cdot \mathbf{r}_i^1 \left(q^1, q^2, q^3 \right), \end{aligned} \quad (4.2)$$

amely az argumentumok kiírása nélkül az alábbi alakot ölti:

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i^0 + \mathbf{A}_i^0 \mathbf{r}_i^0 \cdot \mathbf{r} + \mathbf{A}^0 \cdot \mathbf{r}_i = \left(\mathbf{E}_i + \mathbf{A}_i^0 \cdot \mathbf{r} \right) \mathbf{r}_i^0 + \mathbf{A}^0 \cdot \mathbf{r}_i. \quad (4.2')$$

Formálisan megkaptuk a bázisvektorokat, formálisan kettő bázisvektor összegeként, de az első az „alapkontinuumban”, a másik a szemcsében értelmezett.

A továbbiakban az argumentumokat nem írjuk ki, ugyanis az egyes objektumok fölötti indexezés elárulja, hogy melyik koordináták függvénye.

A bázisvektorok segítségével előállíthatók a metrikus tenzor komponensei. A

$$g_{ij}^{nm} \Leftrightarrow \left\langle \mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j \right\rangle, \quad n = m = 0, 1 \quad (4.3)$$

megfeleltetéssel (azért nem egyenlőség, mert a bázisvektoroknak „együtthatóik” vannak) a (szimmetrikus) metrikus tenzor négy részre particionálható:

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} g^{00} & g^{01} \\ \mathbf{g} & \mathbf{g} \\ g^{10} & g^{11} \\ \mathbf{g} & \mathbf{g} \end{bmatrix}. \quad (4.4)$$

Formálisan felírható a Christoffel-Riemann-féle szimbólumok, a Riemann-féle görbületi tenzor és a Bianchi-azonosság. Mivel ezekkel az objektumokkal érdemben nem fogunk foglalkozni, ezért felírásuktól eltekintünk.

A klasszikus kontinuumban a helyvektorok különbsége adja az eltolódásvektort. Az általánosított kontinuumban az „alapkontinuum” helyvektorainak különbsége adja az eltolódásvektort, a szemcsé affin transzformációját első közelítésben a szemcsé merevtestszerű elfordulásával vesszük figyelembe, és az \mathbf{A}^0 tenzort ferdén szimmetrikus tenzornak tekintjük, amelyet a szakirodalom forgató tenzornak tekint (ERINGEN [21]; p. 659-661).

Az alakváltozás tenzorát – mint a metrikus tenzor különbségének a felét – (4) alapján az

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{diffgeo} = \begin{bmatrix} 00 & 01 \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} \\ 10 & 11 \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

formában kell(ene) értelmezni, ahol a főátlóbeli blokkok szimmetrikus másodrendű tenzorok, a mellékátlóbeli két blokk egymás transzponáltja. A szakirodalom e helyett az

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{mikropolar} = \begin{bmatrix} 0 & \boldsymbol{\varepsilon} & 0 \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \mathbf{1} & \boldsymbol{\varepsilon} \\ 0 & \boldsymbol{\varepsilon} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} grad \mathbf{u} + \boldsymbol{\varphi}^{2t} & 0 \\ 0 & grad \boldsymbol{\varphi}^v \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

alakot alkalmazza (lásd (3.6-8) összefüggéseket), amelyben a két főátlóbeli blokk nem (feltételen) szimmetrikus.

A feszültséget két másodrendű tenzorként értelmezzük:

$$\boldsymbol{\sigma}^0, \quad \boldsymbol{\sigma}^1. \quad (4.7)$$

Az anyagi egyenleteket az alakváltozási és feszültségi tenzorok között írjuk fel:

$$\begin{bmatrix} 0 & \boldsymbol{\varepsilon} & 0 \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \mathbf{1} & \boldsymbol{\varepsilon} \\ 0 & \boldsymbol{\varepsilon} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{A} & 0 \\ \mathbf{A} & \mathbf{1} & \mathbf{A} \\ 0 & \mathbf{A} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\sigma}^0 & 0 \\ 0 & \boldsymbol{\sigma}^1 \end{bmatrix}. \quad (4.8)$$

Végül az egyensúlyi egyenletek két csoportja a következő (ahol $\boldsymbol{\varepsilon}$ a harmadrendű alternáló tenzor):

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \boldsymbol{\sigma}^0 + \boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{\sigma}^1 + \mathbf{X} &= \mathbf{0}, \\ \operatorname{div} \boldsymbol{\sigma}^1 + \boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{\sigma}^0 + \mathbf{X} &= \mathbf{0}. \end{aligned} \quad (4.9)$$

4.2. Az általánosított feladatban az ismeretlenek és a meghatározásukra szolgáló egyenletek számának összehangolása

Az ismeretlenek és a meghatározásukra szolgáló egyenletek számának összehangolása kapcsán a következő megállapításokat tesszük.

A klasszikus kontinuummechanika eltolódásmódszerének elvi vázlata mutatja, hogy az ismeretlenek és a meghatározásukra szolgáló egyenletek számának összehangolásához két szempontot kell figyelembe venni (lásd TONTI [23] LÁMER [14].)

- A klasszikus kontinuum állapotának az „elsődleges” ismeretlenje az \mathbf{u} eltolódásvektor; számszerűen három ismeretlen mennyiség. A meghatározásukra egy, vektorformában felírt egyensúlyi egyenlet szolgál. A skaláregyenletek száma három.
- A klasszikus kontinuum állapotának a „másodlagos” ismeretlenjei az alakváltozások és a feszültségek. Mindkét ismeretlen szimmetrikus, másodrendű tenzor hat-hat független, skalár mennyiséget tartalmaz. Ezért a klasszikus kontinuum állapotának két „másodlagos” ismeretlenje között egy-egyértelmű kapcsolat írható fel.

A klasszikus kontinuum (eltolódásmódszerének) elvi vázlata a következő.

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \overset{0}{\mathbf{u}} \quad (3) \\ \downarrow \\ \text{grad; szimm.} \\ \downarrow \\ \overset{0}{\boldsymbol{\varepsilon}} \quad (6) \end{array} & \xrightarrow{\overset{0}{\boldsymbol{\sigma}} = \overset{0}{\mathbf{A}} \overset{0}{\boldsymbol{\varepsilon}}} & \begin{array}{c} \overset{0}{\mathbf{div}} \overset{0}{\boldsymbol{\sigma}} + \overset{0}{\mathbf{X}} = \mathbf{0} \quad (3) \\ \uparrow \\ \text{div} \\ \uparrow \\ \overset{0}{\boldsymbol{\sigma}} \quad (6) \end{array}
 \end{array} \quad (4.10)$$

Tehát a klasszikus kontinuum állapotának leírásra szolgáló egyenletrendszerre nézve a feladata kitűzésének korrektsége szempontjából két feltétel fogalmazható meg:

- az elsődleges (eltolódás) kinematikai ismeretlenek száma egyezzen meg a dinamikai (egyensúlyi) egyenletek számával,
- a másodlagos (alakváltozás) kinematikai ismeretlenek száma egyezzen meg a dinamikai ismeretlenek (feszültség) számával.

E két feltételnek bármely kontinuumelmélet esetén teljesülnie kell.

Tekintsük az általánosított kontinuum elméletét!

- Az általánosított kontinuum állapotának az „elsődleges” ismeretlenjei az \mathbf{u} eltolódásvektor és a $\boldsymbol{\varphi}$ elfordulás vektor; számszerűen hat ismeretlen mennyiség. A meghatározásukra két vektorformában felírt egyensúlyi egyenlet szolgál. A két vektoregyenlet hat skaláregyenletet ad. Vagyis ebből a szempontból korrekt kitűzésű a peremérték-feladat.
- Az általánosított kontinuum állapotának a „másodlagos” kinematikai ismeretlenjei a szimmetrikus makro-alakváltozási tenzor hat független komponenssel, a mikropoláris alakváltozás (másodrendű) tenzora kilenc független komponenssel, valamint a mikropoláris alakváltozás (harmadrendű) tenzora szintén kilenc független komponenssel. A dinamikai ismeretlenek a feszültségi és a nyomatéki feszültségi tenzorok, szintén kilenc-kilenc független komponenssel. Nem világos, hogy hogyan kell a három alakváltozási tenzor 24 komponensét a két feszültségtenzor 18 komponensével „párba állítani”.

A megoldást azt jelenti, hogy a felhasználjuk azt a tény, hogy a mikropoláris alakváltozás (másodrendű) tenzora kilenc független komponense, valamint a szimmetrikus makro-alakváltozási tenzor hat független komponense egyaránt tartalmazza a makro-eltolódásvektor gradiens tenzora komponenseit. Ezért az elméletből a makro-alakváltozási tenzor elhagyható. Ebben az esetben az alakváltozási oldaláról két kilenc-kilenc független komponenst tartalmazó alakváltozási tenzort tartunk meg, ez a két tenzor egyaránt tartalmazza a makro-eltolódásvektor és a mikroforgások vektorának gradiens tenzorainak minden komponensét (lásd a (6) összefüggést). Ugyanakkor azzal a ténnyel kell szembe nézni, hogy a feszültség–alakváltozás közötti kapcsolat (lásd a (8) összefüggést) algebrai (lásd a (3.22-23) összefüggéseket), azoknak közvetlen fizikai tartalom nem adható.

Az általánosított kontinuum (eltolódásmódszerének) elvi vázlata a következő.

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c}
 {}^0\mathbf{u} \text{ (3)} \\
 \downarrow \\
 {}^0\boldsymbol{\varphi}^v \text{ (3)} \\
 \downarrow \\
 {}^0\boldsymbol{\varepsilon} \text{ (9)} \\
 \downarrow \\
 {}^1\boldsymbol{\varepsilon} \text{ (9)}
 \end{array}
 &
 \begin{array}{c}
 \xrightarrow{{}^0\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A} {}^0\boldsymbol{\varepsilon}} \\
 \xrightarrow{{}^1\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A} {}^1\boldsymbol{\varepsilon}}
 \end{array}
 &
 \begin{array}{c}
 {}^0\mathbf{div} \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{X} = \mathbf{0} \text{ (3)} \\
 \uparrow \\
 {}^1\mathbf{div} \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{X} = \mathbf{0} \text{ (3)} \\
 \uparrow \\
 {}^0\boldsymbol{\sigma} \text{ (9)} \\
 \uparrow \\
 {}^1\boldsymbol{\sigma} \text{ (9)}
 \end{array}
 \end{array}
 \quad (4.11)$$

Klasszikus kontinuumhoz képest az eltérés a következő. Az alakváltozási tenzorok nem egy-egy vektorból képzett gradiens tenzor szimmetrikus részeként állnak elő, hanem a nul-ladrendű alakváltozási tenzor egyszerre tartalmazza a makro-eltolódásvektor gradiens tenzorát és a mikroforgások vektorából képzett ferdén szimmetrikus tenzort, míg az elsőrendű alakváltozási tenzor megegyezik a mikroforgások vektorának gradiens tenzorával.

Tekintsük a klasszikus kontinuum alapján az általánosítást!

$$\begin{array}{cc}
 \begin{bmatrix} {}^{00} & {}^{01} \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} \\ {}^{10} & {}^{11} \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} {}^{00} & 0 \\ \boldsymbol{\sigma} & 0 \\ 0 & {}^{11} \\ 0 & \boldsymbol{\sigma} \end{bmatrix} \\
 \text{alakváltozás} & \text{feszültség}
 \end{array}
 \quad (4.12)$$

Az alakváltozás főátlóbeli blokkjai szimmetrikus másodrendű tenzorok, hat-hat ismeretlen összetevővel. Az alakváltozás mellékátlóbeli blokkjai egymás transzponáltjai, kilenc ismeretlennel. Ez összesen 21 ismeretlen.

A feszültség tenzor két főátlóbeli blokkjában van egy-egy másodrendű tenzor kilenc-kilenc ismeretlen. Az összesen 18 ismeretlen.

A két tenzor struktúrája nem azonos: az alakváltozási tenzor esetén a mellékátlóbeli blokkok nem zérus értékűek, főátlóbeli blokkok szimmetrikusak. A feszültségtenzor esetén a mellékátlóbeli blokkok zérus értékűek, a főátlóbeli blokkok nem szimmetrikusak. Ezért az alakváltozási tenzor struktúráját meg kell változtatni, és három ismeretlent el kell eliminálni. Ezeknek a feltételeknek tesz eleget a (6) alatti alakváltozási tenzor.

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} {}^0 & \\ \boldsymbol{\varepsilon} & 0 \\ 0 & {}^1 \\ & \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix}
 &
 =
 \begin{bmatrix} \text{grad} \mathbf{u} + \boldsymbol{\varphi}^{2t} & 0 \\ 0 & \text{grad} \boldsymbol{\varphi}^v \end{bmatrix}
 &
 \begin{bmatrix} {}^{00} & 0 \\ \boldsymbol{\sigma} & 0 \\ 0 & {}^{11} \\ 0 & \boldsymbol{\sigma} \end{bmatrix} \\
 \text{alakváltozás} & & \text{feszültség}
 \end{array}
 \quad (4.13)$$

A klasszikus kontinuum (10) alatti megoldási sémája, valamint az általánosított kontinuum (11) alatti megoldási sémája és a hozzáfűzött megjegyzésekből következik, hogy a klasszikus kontinuum általánosításának három eltérő változata lehetséges.

- Az elsődleges kinematikai változó – az \mathbf{u} eltolódásvektor – struktúráját tekintve változtatlan, a dimenzió számát növeljük, az általánosított kontinuumnak $n \times 3$ szabadságfoka van, ehhez a dimenzió számának megfelelő másodrendű alakváltozási és feszültségi tenzorokat értelmezünk.
- Az elsődleges kinematikai változó – az \mathbf{u} eltolódásvektor – struktúráját bővítjük úgy, hogy az eltolódás mellett új – a pont környezetének alakváltozását leíró – kinematikai változókat értelmezünk, amely másod-, harmad- stb. rendű tenzor; az általánosí-

tott kontinuumnak $3 + 3^2 + 3^3 \dots$ szabadságfoka van, ehhez a másodrendű feszültségtenzor mellett értelmezzünk egy-egy harmad-, negyed- stb. rendű nyomatéki feszültségtenzort.

- Az elsődleges kinematikai változó – az \mathbf{u} eltolódásvektor – struktúráját bővítjük: a homogén kontinuumba szemcséket ágyazunk be, amelyekbe ismételt szemcséket ágyazunk be, többszörösen, az egyes szemcséknek önálló koordináta-rendszerben önálló háromváltozós kinematikai szabadságfokai vannak, az általánosított kontinuumnak $n \times 3$ szabadságfoka van, minden beágyazott szinthez egy-egy önálló másodrendű nyomatéki feszültségtenzort értelmezzünk.

4.3. Az általánosítás a dimenzió számának növelésével

Legyen a vizsgált tér dimenziószáma $n \times 3$ (a táblázatban $n = 3$)!

A helyvektor értelmezése:

$$\mathbf{r} = \sum_{i=1}^{3n} r^i(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) \mathbf{e}_i = \mathbf{r}^0(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) + \mathbf{r}^1(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) + \mathbf{r}^2(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) + \dots, \quad (4.14)$$

$$\mathbf{r}^j(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) = r^{3j}(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) \mathbf{e}_{3j} + r^{3j+1}(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) \mathbf{e}_{3j+1} + r^{3j+2}(q^1, q^2, \dots, q^{3n}) \mathbf{e}_{3j+2}.$$

A koordinátákat hármassával csoportosítjuk, így formálisan az egyes általánosított modellhez egy-egy újabb helyvektor-összetevő hozzá vételével a modell formálisan „általánosítható”, tovább „bővíthető”. Azért formálisan, mert egy új helyvektor-összetevő hozzá vételével a korábban már figyelembe vett helyvektor-összetevők argumentumait bővíteni kell.

Az elsődleges kinematikai ismeretlen értelmezése:

$$\mathbf{u} = \mathbf{R} - \mathbf{r} = \mathbf{R}^0 + \mathbf{R}^1 + \mathbf{R}^2 + \dots - (\mathbf{r}^0 + \mathbf{r}^1 + \mathbf{r}^2 + \dots) = \mathbf{u}^0 + \mathbf{u}^1 + \mathbf{u}^2 + \dots \quad (4.15)$$

Az eltolódásmódszer elvi vázlata.

$$\begin{array}{ccc} \mathbf{u} = \mathbf{u}^0 + \mathbf{u}^1 + \mathbf{u}^2 + \dots & (n \times 3) & \mathbf{div} \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{X} = \mathbf{0} \quad (n \times 3) \\ \downarrow & & \uparrow \\ \text{grad; szimm.} & & \text{div} \\ \downarrow & & \uparrow \\ \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} 00 & 01 & 02 & \dots \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} & \dots \\ 10 & 11 & 12 & \dots \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} & \dots \\ 20 & 21 & 22 & \dots \\ \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} & \boldsymbol{\varepsilon} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} & (n \times 3)^2 & \xrightarrow{\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A} \boldsymbol{\varepsilon}} \boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} 00 & 01 & 02 & \dots \\ \boldsymbol{\sigma} & \boldsymbol{\sigma} & \boldsymbol{\sigma} & \dots \\ 10 & 11 & 12 & \dots \\ \boldsymbol{\sigma} & \boldsymbol{\sigma} & \boldsymbol{\sigma} & \dots \\ 20 & 21 & 22 & \dots \\ \boldsymbol{\sigma} & \boldsymbol{\sigma} & \boldsymbol{\sigma} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} & (n \times 3)^2 \end{array} \quad (4.16)$$

18. Megjegyzés. 1. A modellt az $3n$ -dimenziós térben értelmeztük. 2. Az alakváltozási és a feszültségi tenzorok szimmetrikusak, ennek következtében a $(n \times 3)^2$ kifejezés helyett a $(n \times 3 + 1) \cdot (n \times 3) / 2$ kifejezésnek kellene állnia.

4.4. Az általánosítás magasabb rendű kinematikai szabadságfokok rendszerével

Legyen a figyelembe vett magasabb rendű kinematikai szabadságfokok száma n !

A helyvektor értelmezése:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3). \quad (4.20)$$

A differenciálható sokaság minden pontjához vektorrendű, másodrendű, harmadrendű, n -edrendű érintő teret rendelünk, és ezekben az érintő terekben értelmezzük a kinematikai ismeretlen mennyiségeket.

$$\begin{aligned} {}^0\mathbf{u} &= \mathbf{R} - \mathbf{r} = u_i \mathbf{r}_i, \\ {}^1\mathbf{u} &= u_{ij} \mathbf{r}_i \otimes \mathbf{r}_j, \\ {}^2\mathbf{u} &= u_{ijk} \mathbf{r}_i \otimes \mathbf{r}_j \otimes \mathbf{r}_k, \\ &\vdots \end{aligned} \quad (4.21)$$

Az eltolódásmódszer elvi vázlata.

$$\begin{array}{ccccccc} {}^0\mathbf{u} \ (3) & & & & \text{div } {}^0\boldsymbol{\sigma} + {}^0\mathbf{X} = \mathbf{0} \ (3) & & \\ \downarrow & {}^1\mathbf{u} \ (3^2) & & & \uparrow & \text{div } {}^1\boldsymbol{\sigma} + {}^0\boldsymbol{\xi} + {}^1\mathbf{X} = \mathbf{0} \ (3^2) & \\ \text{grad, szimm.} & \downarrow & {}^2\mathbf{u} \ (3^3) & & \text{div} & \uparrow & \text{div } {}^2\boldsymbol{\sigma} + {}^1\boldsymbol{\xi} + {}^2\mathbf{X} = \mathbf{0} \ (3^3) \\ & \text{grad} & \downarrow & & \uparrow & \text{div} & \uparrow \\ & & \text{grad} & & {}^0\boldsymbol{\sigma} \ (3^2) & \uparrow & \\ \downarrow & & & & & & \\ {}^0\boldsymbol{\varepsilon} \ (3^2) & \downarrow & & \xrightarrow{{}^0\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A} {}^0\boldsymbol{\varepsilon}} & & \uparrow & \\ & {}^1\boldsymbol{\varepsilon} \ (3^3) & \downarrow & \xrightarrow{{}^1\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A} {}^1\boldsymbol{\varepsilon}} & & {}^1\boldsymbol{\sigma} \ (3^3) & \uparrow \\ & & {}^2\boldsymbol{\varepsilon} \ (3^4) & & \xrightarrow{{}^2\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A} {}^2\boldsymbol{\varepsilon}} & & {}^2\boldsymbol{\sigma} \ (3^4) \end{array} \quad (4.22)$$

19. Megjegyzés. 1. A modelt $3 \times n$ -dimenzós térben (annak is az érintő terében) értelmezzük. 2. A felírt nulladrendű alakváltozási és a feszültségi tenzorok szimmetrikusak, a magasabb rendű tenzorok nem szimmetrikusak.

4.5. Az általánosítás többszörösen egymásba ágyazott szemcsék rendszerével

Legyen az egymásba ágyazott szemcsék száma n (a táblázatban $n = 2$)!

A helyvektor értelmezése:

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3) + \mathbf{A} \begin{pmatrix} {}^0 & {}^0 & {}^0 & {}^0 \\ \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3) \end{pmatrix} \cdot \mathbf{r} \begin{pmatrix} {}^1 & {}^1 & {}^1 \\ q^1, q^2, q^3 \end{pmatrix} + \\ &+ \mathbf{A} \begin{pmatrix} {}^1 & {}^1 & {}^1 & {}^1 \\ \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3) \end{pmatrix} \cdot \mathbf{r} \begin{pmatrix} {}^2 & {}^2 & {}^2 \\ q^1, q^2, q^3 \end{pmatrix} + \mathbf{A} \begin{pmatrix} {}^2 & {}^2 & {}^2 & {}^2 \\ \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3) \end{pmatrix} \cdot \mathbf{r} \begin{pmatrix} {}^3 & {}^3 & {}^3 \\ q^1, q^2, q^3 \end{pmatrix} + \dots \end{aligned} \quad (4.17)$$

A koordinátákat hármasával csoportosítjuk, így a formálisan az egyes általánosított mo-

dehhez egy-egy újabb helyvektor-összetevő hozzá vételével a modell „általánosítható”, tovább „bővíthető”. A modell sajátossága, hogy egy új helyvektor-összetevő hozzá vételével a korábban már figyelembe vett helyvektor-összetevők argumentumoktól való függését nem változtatjuk meg.

Az elsődleges kinematikai ismeretlenek értelmezése:

$$\mathbf{u} = \mathbf{R} - \mathbf{r} = \mathbf{R}^0 + \mathbf{R}^1 + \mathbf{R}^2 + \dots - (\mathbf{r}^0 + \mathbf{r}^1 + \mathbf{r}^2 + \dots) = \mathbf{u}^0 + \boldsymbol{\varphi}^1 \mathbf{r}^0 + \boldsymbol{\varphi}^2 \mathbf{r}^1 + \dots \quad (4.18)$$

Az eltolódásmódszer elvi vázlata.

$$\begin{array}{ccccccc} \mathbf{u}^0(3) & & & & \mathbf{div} \boldsymbol{\sigma}^0 + \mathbf{X}^0 = \mathbf{0}(3) & & \\ \downarrow & & \boldsymbol{\varphi}^0(3) & & \uparrow & & \mathbf{div} \boldsymbol{\sigma}^1 + \boldsymbol{\varepsilon}^0 \boldsymbol{\sigma}^0 + \mathbf{X}^1 = \mathbf{0}(3) \\ \text{grad} + \boldsymbol{\varphi}^t & & \downarrow & & \text{div} & & \uparrow \\ & & \boldsymbol{\varphi}^1(3) & & & & \mathbf{div} \boldsymbol{\sigma}^2 + \boldsymbol{\varepsilon}^1 \boldsymbol{\sigma}^1 + \mathbf{X}^2 = \mathbf{0}(3) \\ & & \downarrow & & & & \uparrow \\ & & \text{grad} & & & & \text{div} \\ & & \downarrow & & \uparrow & & \uparrow \\ \boldsymbol{\varepsilon}^0(9) & & \downarrow & & \boldsymbol{\sigma}^0(9) & & \uparrow \\ & & \boldsymbol{\varepsilon}^1(9) & & & & \boldsymbol{\sigma}^1(9) \\ & & \downarrow & & & & \uparrow \\ & & \boldsymbol{\varepsilon}^2(9) & & & & \boldsymbol{\sigma}^2(9) \end{array}$$

(4.19)

20. *Megjegyzés.* 1. A független koordináták alkalmazása esetén a modellt $3 \times n$ -dimenzós térben értelmezzük. 2. Amennyiben a szemcséken belüli helymeghatározásra használt koordinátákat az „alapkontinuum” leírására használt koordinátákkal fejezzük ki, úgy a modellt a háromdimenziós térben alkotjuk meg. 3. A felírt alakváltozási és a feszültségi tenzorok nem szimmetrikusak; holott az alakváltozási tenzoroknak differenciálgeometriai alapról indulva szimmetrikusnak kellene lenniük.

5. AZ ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUMOK VIZSGÁLATA

A klasszikus kontinuum formális általánosításához három lehetőségre mutatunk rá:

- a dimenziószám növelése,
- a háromdimenziós tér érintőterében a kinematikai szabadságfokok tenzoriális rendjének növelése,
- az egymásba ágyazás szintje számának növelése.

Az algoritmusok formálisan korrektek: mindhárom esetben értelmeztük az kinematikai változókat, abból differenciálás útján az alakváltozási komponenseket, ezzel összhangban az elemi n -téglány felületein a feszültségtenzor komponenseit; a két utóbbi tenzor rendje megegyezik, ezért formálisan felírható az alakváltozási és a feszültségi tenzorok közötti lineáris összefüggés, mint anyagi egyenletek, végezetül a feszültségtenzor komponenseire felírt differenciális összefüggések adják a megoldandó (egyensúlyi) egyenleteket.

5.1. A dimenziószám növelésével nyert általánosított kontinuum-elmélet

Az algoritmusban a dimenziószámot növeljük. Az alkalmazott matematikai apparátus, levezetés módja, és a fizikai interpretáció nem változik: az elmélet kiépítése a differenciálgeometriára, azon belül a Riemann-féle geometriára épül.

Az elmélet egy elképzelt $(3 \times n)$ -dimenziós térben lévő kontinuum mechanikai viselkedést írja le. Valós térünk háromdimenziós. Következésképpen a dimenziószám növelésével az klasszikus kontinuum elmélete nem általánosítható.

5.2. A háromdimenziós tér érintőterében a kinematikai szabadságfokok tenzoriális rendjének növelésével nyert általánosított kontinuum-elmélet

Az algoritmusban a háromdimenziós tér érintőterében a kinematikai szabadságfokok tenzoriális rendjét növeljük. Az alkalmazott matematikai apparátus, levezetés módja nem változik, a differenciálgeometriában megszokott módszereket alkalmazunk. Az eljárás nem új: a háromdimenziós térben mozgó anyagi pont mozgásának leírására a fázisteret alkalmazzuk: egyidejűleg vesszük figyelembe a helyet és a sebességet. A fázistér dimenziószáma hat. Az anyagi pont nem a fázistérben, hanem háromdimenziós térben mozog, a fázistérben matematikai vizsgálatokat végzünk. Az, hogy a mozgás terének az érintőteréhez annak dimenziószámát meghaladó számú matematikai (fizikai) mennyiséget kötünk, szintén nem új: a merev testet nem csak a referencia pontjának helyvektorával, hanem a referenciaponthoz kötött háromél elfordulásával is jellemezzük. Ebben az esetben is test a háromdimenziós térben a mozog, ugyanakkor az érintőtér minden pontjához több matematikai objektumot kötünk: sebességvektor, forgásvektor.

A kérdés, hogy vajon kontinuum esetén az érintőtérhez az eltolódáson kívül köthető-e attól független elfordulási és/vagy alakváltozási szabadságfok. Az, hogy az érintőtérhez magasabb rendű tenzoriális mennyiségeket (esetenként nem tenzoriális objektumokat) kötünk, az világos: a differenciálgeometria struktúra mutatja, hogy a tér egy pontjához kötjük a helyvektort, a metrikus tenzort, a Christoffel-Riemann szimbólumokat, a Riemann-féle görbületi tenzort. A kérdés az, hogy

- az alakváltozási tenzortól függetlenül másodrendű tenzor értelmezhető úgy, mint a kontinuum belső szerkezetét visszatükröző matematikai objektum,
- a feszültségtenzortól függetlenül értelmezhető-e nyomatéki tenzor.

Mindkét esetben a válasz nemleges. Ugyanis terünk ponthalmazra épített tér: a halmaz elemei pontok, számosságuk kontinuum-számosság. A pontok egymáshoz viszonyított rendje – a topológiai rend – változatlan, ezért koordinátarendszer értelmezhető. A pontokból alkotott környezetek szeparálhatóak, a tér teljes. A pontoknak nincs kiterjedésük, ezért lehet a számosságuk kontinuum-számosság. A kiterjedés hiánya miatt a pont a helyzetével jellemezhető: ez szükséges és elégséges jellemzés. Egy pont véges környezetének, azaz a tér egy véges térfogatú tartományának értelmezhető a forgása és az alakváltozása. Ugyanakkor ezek értelmezése nem a pontokhoz, hanem a pontokon áthaladó, azokat felfűző koordinátavonalak érintő vektoraihoz, azaz a bázisvektorokhoz köthető. Egy ponthoz újabb koordinátázás nélkül nem lehet újabb bázist kötni. Ezért sem másod, sem harmad, sem más, magasabb rendű tenzoriális mennyiség, amely a „pont” kinematikai változását írná le, nem köthető a ponthoz. Nyomaték esetén még karakterisztikusabb a válasz. A nyomaték másodlagos mennyiség. Az elsődleges fogalom az erő. A nyomaték az erőnek egy pontra, vagy egy egyenesre vett nyomatékként értelmezzük. Az értelmezés az erőn kívül tartalmaz egy távolságot, vagyis egy erőkart. A nyomaték egy irányított terület. Ha az erőkart nézzük, akkor egy ponton belül – a pontnak kiterjedése nincs – erőkar nem értelmezhető. Ha a nyomatéknak az irányított területre alapuló értelmezését vesszük alapul, akkor egy pont területe zérus, azaz a ponthoz, „azon belül” „megoszló nyomaték” nem köthető. A magasabb rendű nyomaték fogalmának az értelmezése is kétséges, mert a háromdimenziós térben a nyomaték egy irányított terület. Ez utóbbi értelmezés kihasználja, hogy a tér három-, a terület kétdimenziós. Tehát a kétdimenziós felületre ortogonális irányhoz kötött vektor reprezentálhatja a nyomatékokat. Irányított térfogat – mint a háromdimenziós tér

nyomatékának általánosítása – esetén négy dimenzióra lenne szükség.

Következésképpen a háromdimenziós tér érintőterében a kinematikai szabadságfokok tenzoriális rendjének növelésével az klasszikus kontinuum elmélete nem általánosítható.

5.3. A háromdimenziós térben egymásba ágyazott kontinuumok ágyazási szintje számának növelésével nyert általánosított kontinuum-elmélet

Az egymásba ágyazott szemcsék esetének matematikai leírása több olyan kérdést vet fel, amelyek arra utalnak, hogy az általánosítás ezen módja matematikai értelemben nem korrekt. A felmerült ellentmondások a következők.

A dimenzió száma. Ha az egyes szemcsék koordinátái függetlenek az „alapkontinuum”-ban értelmezett koordinátáktól, úgy a háromdimenziós terünket $(n \times 3)$ -változóval írjuk le, ami hibás elmélethez vezet. Ha viszont a szemcsékben is ugyanazt a koordináta-rendszert alkalmazzuk, mint az „alapkontinumban”, akkor a klasszikus kontinuumhoz, szemcséről szemcsére változó anyagi állandókat feltételezve, a mikroegyenetlen rugalmasságtanhoz jutunk el, és nem a kontinuum általánosításáig.

A határátmenet. Határátmenettel kontinuum számosságú pontthalmaz nem értelmezhető. Határátmenet adott pontthalmazon adott függvény értéke határozható meg a folytonosság alapján. A választott rendszer – „alapkontinumban” beágyazott szemcsék – a pontok halmazát végesnek választja, és ebből határátmenettel sem általánosított sem klasszikus kontinuumot nem lehet levezetni. A diszkrét rendszer – folytonos rendszer közül választani kell (lásd LÁMER [9]).

A differenciálás. Az egymásba ágyazott szemcsék esetén az egyes koordináták értelmezési tartományait elválasztjuk egymástól. Ennek megfelelően az egyik tartományban – például az „alapkontinumban”, vagy egy szemcsében – az ott értelmezett koordináta szerint a differenciálás elvégezhető, de a másik tartományon értelmezett koordináta szerinti differenciálás nem végezhető el. Ezért az összetett differenciálások sem végezhetőek el.

A ponthoz rendelt forgás, alakváltozás. Nem értelmezhető, lásd az 5.2. pontot.

A ponthoz rendelt nyomaték. Nem értelmezhető, lásd az 5.2. pontot.

A ferdén szimmetrikus tenzor nem forgat, hanem egy síkba vetít. (Lásd a pl. RÓZSA [22], pp. 177-178.) Az ortogonális tenzor forgat.

A bevezetett nyomatéki feszültség független a beágyazott mikroelemektől, a mikroelem és az „alapkontinuum” közötti kapcsolatot nem tükrözi vissza.

Az anyagi viselkedés nem utal belső szerkezetre. A szakirodalom jelentős része leírja az anyagi viselkedést a klasszikus kontinuum eszközeivel; lásd BACH [4], HETÉNYI [5], BELL [6], SCHARPE [7]. Az általánosított kontinuum a rácsrezgés optikai ágát képes leírni, illetve az elmélet a nemlokális atomi kapcsolatokkal tudja igazolni az anyagok anyagi állandóinak értékét; KUNYIN [8].

Következésképpen a háromdimenziós térben egymásba ágyazott kontinuumok egymásba ágyazás szintje számának növelésével (már az első beágyazás esetén sem) az klasszikus kontinuum elmélete nem általánosítható.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az általánosított kontinuumok kapcsán az alábbi összefoglaló megállapítások tehetők:

- A felírt differenciálegyenlet-rendszerek önmagukban korrektek (lehetnek)
- A levezetés folytonos modell alapján nem korrekt.
- A nyert elmélet mechanikai interpretációja hibás.

A klasszikus kontinuum az Euklideszi tér folytonos pontthalmazán értelmezett elmélet. Maga a pontthalmaz kontinuum számosságú szeparálható metrikus tér. A kontinuumme-

chanika kifejezésében a kontinuum kifejezés arra utal, hogy az elmélet értelmezési tartománya matematikai értelemben kontinuum.

Az általánosított kontinuum szabályos kristályrács rácspontjaiban értelmezett elmélet. A szabályos kristályrács rácspontjaiban „mikroelemek” (anyagi pontok, merev testek, deformálható szilárd testek, szabályos elrendezésű kristályrács-egységek) ülnek. Ezeknek a „mikroelemeknek” az állapotát leíró függvények értelmezési tartománya az egyes rácspontok. Ugyanakkor az összes rácspontban értelmezett függvényeket egy „általánosított” függvénynek tekintve, az utóbbi függvény értelmezési tartománya a rácspontok halmaza. Ezeket a rácspontok halmazán értelmezett „általánosított függvények” sorba fejthetők a rácspontokat magába foglaló beágyazó tér (amely kontinuális tulajdonságokkal bír) fölött értelmezett folytonos függvények terében. Ezeknek a függvényeknek a meghatározására vonatkozó elmélet szolgáltatja az általánosított kontinuum elméletét. A leírásból következik, hogy valóban nem kell kísérlet, a kristályrács rácspontjában ülő „mikroelemek” közötti kapcsolat (anyagi egyenlet) sorba fejtésével megkapjuk az elméletben szereplő anyagi állandókat. Mivel a rendszer diszkrét pontokban értelmezett függvényekkel dolgozik, ezért az elmélet nem csak kollektív mozgásokat, hanem egymásra elmozduló mozgásokat – a rezgés optikai ága – is tartalmaz. (Részleteket lásd KUNYIN [8]).

Az általánosított kontinuum a diszkrét rendszer leírására alkalmazott numerikus módszer, amelyben a bázisfüggvények a beágyazó tér fölött értelmezett folytonos függvények.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ERINGEN, A.C.:** *Microcontinuum Field Theories*. Springer, New York, Berlin/Heidelberg, 1998.
- [2] **NOWACKY, W.:** *Theory of Micropolar Elasticity*. Udine Springer, Wien/New York. 1970.
- [3] **ERINGEN, A.C.:** *Nonlocal Continuum Field Theories*. Springer, New York, Berlin/Heidelberg, 2010.
- [4] **BACH, C.:** *Elastizität und Festigkeit*. 7. Auflage Springer, Berlin, 1917.
- [5] **HETÉNYI, M. (ED.):** *Handbook of Experimental Stress Analysis*. John Wiley and Sons, New York – Chapman & Hall, London, 1950.
- [6] **BELL, S.F.:** *Experimental foundations of mechanics of deformable solid bodies*. In Encyclopaedia of Physics. Chief ed.: S. Flügge, VIa/1. Mechanics of solids I. Ed. C. Truesdell. Springer-Verlag, Berlin, 1973.
- [7] **SHARPE, Jr., W.N. (ED.):** *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*. Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [8] **КУНИН, И. А.:** *Теория упругих сред с микроструктурой*. Наука, Москва, 1975.
- [9] **LÁMER G.:** *Contradictions in the Theory of Micropolar Elasticity and Their Causes* = Newsletter, Techn. Univ. of Budapest, II (1), 1984. pp. 12-16
- [10] **LÁMER G.:** *A deformálható szilárd, folytonos közegek matematikai modellezésének egyes kérdéseiről: topológikus, metrikus és numerikus szempontok.* = In: Mérnökgeológia-Közetmechanika 2013. Konferencia (Budapest, 2013. november hó 6.) Szerk.: Török Á. – Görög Péter – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2013. [A Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtára 16. kötet] pp. 317-332
- [11] **LOVE, A.E.H.:** *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*. Fourth ed. Cambridge, At the University Press, 1927.
- [12] **ЛУРЬЕ, А.И.:** *Теория упругости*. Наука, Москва, 1970.
- [13] **KOBAYASHI SH. – NOMIZU, K.:** *Foundations of Differential Geometry*. I-II. Interscience Publisher, N. Y. – London, 1963-69.
- [14] **LÁMER G.:** *Differential Geometry, as Mathematical Background of Continuum*

- Physics* = Newsletter, Techn. Univ. of Budapest, **II** (3), 1984. pp. 17-21
- [15] **LÁMER G.:** *Topológiai eszközök alkalmazásának lehetőségei és korlátai a közegek mechanikai modellezésében.* A XII. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, 2015. augusztus hó 25-27.) Konferencia kiadványa. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 211. cikk. 13 oldal
- [16] **LÁMER G.:** *Metrikus eszközök alkalmazásának lehetőségei és korlátai a közegek mechanikai modellezésében.* A XII. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, 2015. augusztus hó 25-27.) Konferencia kiadványa. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 326. cikk. 13 oldal
- [17] **LÁMER G.:** *Notes on the Theory of Large Displacement with Small Strain = Periodica Politechnica* 29 (1-2), 1985. pp. 53-65
- [18] **LÁMER G.:** Kis alakváltozások mellett nagy elmozdulást végző kontinuum kinematikájáról = Építés-, Építészettudomány XXIII (1-2), 1992-93. pp. 35-59
- [19] **LÁMER G.:** *A kis alakváltozások mellett nagy elmozdulásokat végző tökéletesen rugalmas héjak és rudak elméleteinek matematikai alapjai.* Kandidátusi értekezés. Budapest, 1990.
- [20] **LÁMER G.:** *A szükséges és elégséges összeférhetőségi peremfeltételek meghatározása* = Alkalmazott Matematikai Lapok **16**, 1992. pp. 99-113
- [21] **ERINGEN, A.C.:** *Micropolar Theory of Elasticity.* = In Fracture. An Advanced Treatise. Volume II. 7th chapter. Ed. H. Liebowitz, Academic Press, New York and London, 1968. (Orosz kiadás: Разрушение. Том 2. Издательство МИР, Москва, 1975. pp. 646-751)
- [22] **RÓZSA, P.:** *Lineáris algebra.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [23] **TONTI, E.:** *The Mathematical Structure of Classical and Relativistic Physics. A General Classification Diagram.* Birkhäuser Verlag, Basel - Boston - Berlin, 2013.

AZ ERŐKRE VONATKOZÓ AXIÓMÁK A MECHANIKÁBAN

AXIOMS OF FORCES IN MECHANICS

LÁMER Géza

főiskolai tanár, glamer@eng.unideb.hu

Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar

Kivonat: Vizsgálódásunk középpontjában az erő fogalmának, tulajdonságainak, hatásának axiomatikus megfogalmazása áll. Ismert, hogy a newtoni axiómák az erő néhány tulajdonságát, és az anyagi pont mozgása (gyorsulása) esetén az erő és a gyorsulás paraméterei (koordinátái) közötti kapcsolatot adja meg. Ismert az is, hogy a merev testek statikája axiómái az egyensúlyi erőrendszer néhány tulajdonságait rögzítik. A tanulmányban javaslatot teszünk egy, az erőkire vonatkozó teljes axiómarendszer felállítására. Megmutatjuk, hogy pontrendszer esetén a javasolt axiómarendszer magába foglalja a newtoni axiómákat, merev testek egyensúlya esetén pedig a statika axiómáit.

Kulcsszavak: a pontrendszerek newtoni axiómái, a statika axiómái, az erőkire vonatkozó teljes axiómarendszer

Abstract: In the centre of our research is the axiomatic wording of the notion, characteristic and effects of force. It is known, that Newton's axioms give some characteristic of force, and in the case of motion (accelerations) of a material points the relation between parameters (components) of force and acceleration. It is also known, that the axioms of static for the equilibrium of rigid bodies tie down some characteristics of force. In the paper we propose a complete system of axioms of forces. We show, that in the case of movement of system of material points, the proposed complete system of axioms of forces contains Newton's axioms, and in the case of equilibrium of rigid bodies, the axioms of statics.

Keywords: Newton's axioms of system of material points, axioms of statics, a complex system of axioms of forces

1. AZ ERŐKRE VONATKOZÓ KÉT AXIÓMARENDSZER

Newton a „Principiában” a pontszerű anyagi testek mozgásának leírására fogalmazta meg axiómarendszerét. Az axiómarendszerben Newton megadja a test mechanikai állapotát, ha a testre nem hat erő, megadja, hogyha erő hat a testre, akkor az erő nagysága és állása hogyan függ össze a test mozgásállapotának megváltozását jellemző mennyiségekkel, végül megadja, hogy ha két test egymásra hatása során erők ébrednek, akkor azok állása, nagysága és értelme hogyan viszonyul egymáshoz. Newton az axiómarendszerben nem tér ki arra, hogy két, vagy több erő ébredése során az erők hogyan viszonyulnak egymáshoz, illetve, hogy két egyidejűleg ébredő erő esetén együttes hatásukat ugyanarra a testre hogyan kell meghatározni. Ugyanakkor e két kérdés esetében egyértelműen jár el: az erők ébredésük során egymástól függetlenek, és hatásuk vektoriálisan összegződik. Newton, éppen azért, mert pontszerű testek mozgásával foglalkozik, az egyensúly kérdésével nem foglalkozik (NEWTON [1], p. 403-417).

Newton axiómái nem határozzák meg explicite, hogy az erők vektormennyiségek, ezt a két állítást az 1. és a 2. származékos tételben (korolláriumban) tárgyalja (NEWTON [1], p. 417).

A statika axiómáit merev testek egyensúlyi állapotára szokás megfogalmazni (lásd pl. SZILY [2], vagy CHOLNOKY [3]). A statika axiómái két, illetve három erő egyensúlyának feltételeit, valamint egy egyensúlyi erőrendszernek egy másik egyensúlyi erőrendszerbe való átalakításának módját rögzítik. Végezetül a statika axiómái közé sorolják a hatás és ellenhatás (newtoni) axiómáját is, pedig a statika axiómarendszere erők ébredésével nem foglalkozik.

A statika axiómái nem határozzák meg explicite, hogy az erők vektormennyiségek, erre az állításra a három erő egyensúlyára vonatkozó axiómából lehet következtetni.

Általánosságban egyik axiómarendszer sem foglalkozik az erő létrejöttével, bár mindkettő

magába foglalja azt az axiómát, amely meghatározza két test között fellépő hatás modelljeként értelmezhető erők számát és azok egymáshoz való viszonyát. A két axiómarendszer két különböző mechanikai rendszerre vonatkozik: az első a pontszerű testek mozgását, a második a merev testek egyensúlyát hivatott leírni.

Az, hogy egy számhármassal vektort alkot, nem szükségszerű. Utalunk arra, hogy a vektorek értelmezése esetén axiómák rögzítik a vektorok összeadásának tulajdonságait (kommutativitás, asszociativitás), valamint a vektorokkal és a valós számokkal egyidejűleg végezhető műveletek tulajdonságait (lásd pl. HALMOS [4]). Azaz az a tapasztalati tény, hogy az erő vektormennyiség, és hogy több erő együttes hatása több erő vektoriális összegének a hatásával egyenértékű, nem következik abból, hogy az erőt két test egymásra hatásának leírására használjuk.

2. A NEWTONI AXIÓMÁK

Newton axiómái a pontszerű testek mozgásállapotára, pontosabban a pontszerű testek mozgásállapotának megváltozására vonatkoznak (NEWTON [1]). Az egyes definíciók, axiómák magyar megfogalmazását [5] alapján adjuk meg.

Az axiómák megadása előtt szükséges értelmezni az erőt, a testet és a mechanikai állapotot, amelyre vonatkoznak az axiómák.

Newton az erőt úgy értelmezi, hogy „A kívülről ható erő az a testre gyakorolt hatás, amely megváltoztatja a test nyugalmi állapotát, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását.” (IV. meghatározás, NEWTON [1], p. 405; [5] p. 42.)

Newton test helyett anyagról beszél. „Az anyag mértéke a mennyisége; ezt a mennyiséget az anyag sűrűsége és térfogata együttesen határozza meg.” (Mai szóhasználat: a kettő szorzata.) (I. meghatározás, NEWTON [1], p. 403; [5] p. 40.)

A „kiinduló” mechanikai állapot a nyugalmi állapot, vagy az egyenes vonalú egyenletes mozgás, lásd a IV. meghatározást.

A Newton-féle axiómák a következők.

Az 1. Newton-féle axióma („Law 1.”). „Minden test megmarad nyugalmi állapotában vagy egyenes vonalú egyenletes mozgásában, hacsak külső erő nem kényszeríti ennek az állapotnak az elhagyására.” (NEWTON [1], p. 416; [5] p. 58.)

Ez az axióma arra az állapotra vonatkozik, amikor a testre nem hat erő; másképpen fogalmazva, nem hat rá egy másik test.

A 2. Newton-féle axióma („Law 2.”). „A mozgás megváltozása arányos a külső, mozgató erővel, és annak az egyenesnek az irányába megy végbe, amelyben ez az erő hat.” (NEWTON [1], p. 416; [5] p. 58.)

Ezt az axiómát a mai nyelven egy pontszerű testre ható erőre a következőképpen fogalmazzuk meg: egy pontszerű test *gyorsulása* (\mathbf{a}) egybeesik a testre ható \mathbf{F} erővel, nagysága *egyenesen arányos* az erő nagyságával, és fordítottan arányos a test m tömegével.

Ez az axióma megadja a kapcsolatot az erőt meghatározó adatok (állás, nagyság és értelem) és a test mozgásállapotának megváltozását leíró adatok (a mozgás megváltozása, a megváltozást jellemző gyorsulásvektor állása, nagysága és értelem) között. Ez azt is jelenti, hogy ez az axióma egyúttal értelmezi, hogy az erőt milyen adatok jellemzik: állás, nagyság és értelem. Ugyanakkor ez az axióma nem adja meg, hogy az erő hogyan keletkezik. Ugyanis a newtoni mechanikai rendszerben gravitációs erők hatnak a testekre, az erők értékét és hatásvonalát (állását) a gravitáló testek egymáshoz viszonyított helyzete, tömegük és az egyetemes gravitáció törvénye határozza meg. A 2. axióma egyrészt azt adja meg, hogy ha hat egy testre egy erő, akkor az megváltoztatja a test mozgásállapotát, másrészt azt adja meg, hogy hogyan kell a mozgásállapot megváltozását az erő ismeretében kiszámítani.

A 2. axióma egy erőhatást és következményét kapcsolja össze. Több erőhatás egyidejű hatásával nem foglalkozik. Azt külön meg kell vizsgálni.

A 3. *Newton-féle axióma* („Law 3.”). „A hatással mindig egyenlő nagyságú és ellentétes visszahatás áll szemben; más szóval: két testnek egymásra gyakorolt kölcsönös hatása mindig egyenlő és ellentétes irányú.” (NEWTON [1], p. 417; [5] p. 59.)

Ezt az axiómát szokás a hatás és az ellenhatás törvényének nevezni.

Ez az axióma azt adja meg, hogy ha két test egymásra hatása során fellép egy hatás, azt tulajdonképpen két „hatás”, vagyis két erő. Egyúttal megadja, hogy a két erőt jellemző adatok – nagyság és értelem – hogyan viszonyulnak egymáshoz. A hatásvonalról expliciten nem ad információt, de az utána következő magyarázat alapján burkoltan azonos hatásvonalat tételez fel.

A 3. axióma az erőhatás mikéntjét jellemzi. Értelemszerűen az 1. axióma után „következik”. A 2. axióma az erő hatására létrejövő gyorsulást meghatározó mennyiségeket (állás, nagyság, értelem) jellemzi. Ezért a 3. axióma a 2. axiómát „megelőzi”.

A 4. és 5. *Newton-féle axióma*. Valójában nem axiómaként, hanem 1. és 2. származékos tételként (korolláriumként) mondja ki. (A szakirodalomban rendszerint az erők függetlenségét tekinti 4. axiómának, és paralelogramma szabályként fogalmazzák meg, lásd BUDÓ [6], p. 42.) Utalunk arra, hogy a lineáris vektorterekben a paralelogramma szabályt önálló axiómának tekintik (lásd pl. HALMOS [4]). Ezért a két állítást – az erők függetlenek és az erők vektorként adhatók össze – két független axiómának tekintjük.

Az 1. *származékos tétel* (A 4. *Newton-féle axióma*). „Két erő együttes hatására a test egy paralelogramma átlója mentén mozog ugyanannyi ideig, mint ameddig az erők külön előidéztet hatására az oldalak mentén.” (NEWTON [1], p. 417; [5] p. 119.)

Ennek a származékos tételnek a bizonyítására Newton nem a korábbi axiómákat alkalmazza, hanem egy logikai érvelést, hogy függetlenek az erőhatások, tehát mindegy, hogy egy hatás következtében a test a paralelogramma melyik oldala mentén mozog el, végeredményben a test az átló végpontjába mozdul el. Ez az érvelés felhasználja az erőhatás függetlenségét, amely tulajdonságát az erőknek Newton önállóan nem posztulálta.

Az erők összegzéséhez hasonlóan, önálló tételben, a 2. származékos tételben mondja ki, hogy egy erő felbontható két ferde erőre. Ennek bizonyításához az erőknek egy pontra vett nyomatékát, valamint egy mérleg két végpontjára helyezett, egy-egy párhuzamos erő egyensúlyának feltételét használja fel. Úgy is fogalmazhatunk, hogy itt Newton a statika, Newton szó szerinti megfogalmazásában, a mechanika, axiómáit használta föl).

A 2. *származékos tétel* (Az 5. *Newton-féle axióma*). „Ebből nyilvánvaló a közvetlenül ható AD erőnek a ferdén ható AB és BD erőköl való összetétele. Fordítva: valamilyen közvetlenül ható AD erő felbontható két tetszőleges és ferde AB és BD erőkre. Az erőknek az összetétele és szétbontása gyakran igazolódik a mechanikában.” (NEWTON [1], p. 418; [5] p. 120.)

Megjegyzés. Mivel a Newton-féle axiómák pontszerű testekre vonatkoznak, ezért a testre ható erők egy pontban hatnak; az erők vektorai összegzésének elvi akadályja nincs.

A Newton-féle axiómákkal kapcsolatban az alábbi megállapítások tehetők.

- Az axiómák nem tartalmazzák az erők létrejöttére vonatkozó információt azon kívül, hogy az erők párban ébrednek; az axiómák nem határozzák meg az erők létrejöttét.
- A 2. axióma (pontosabban annak $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ alakú megfogalmazása), lehetővé teszi a tömeg és a súlyerő mérését (lásd pl. BUDÓ [6], p. 38-42).
- Az axiómák pontszerű testek eltolódással leírható mozgásállapotára vonatkoznak. A pontszerű testek helyett tekinthetünk kiterjedéssel bíró testeket is, de az ébredő erők csak a testek tömegközéppontjaiban működhetnek, és a testek a tömegközéppontjaik körül nem fordulhatnak el.
- Az axiómák a kiterjedt – pl. merev vagy deformálható szilárd – testek mozgásával nem

foglalkoznak. Ezek önálló vizsgálat tárgyát kell, hogy képezzék.

- Az axiómák egyensúlyról, az egyensúlyi erőrendszernek a mozgásra gyakorolt hatásáról nem nyilatkoznak.
- Az axiómák a testek forgására, alakváltozására, törésére nem vonatkoznak.
- Az axiómák a kényszererők kialakulását nem tartalmazzák, így azt sem, hogy egy felület alkotta kényszer esetén a kényszererő hogyan illeszkedik a felülethez.

Newton axiómái elsősorban pontszerű testek mozgásállapotára vonatkoztatjuk, azaz kizárjuk

- a testek alakváltozását (a testek pontszerűek),
- a testek törését (a testek pontszerűek),
- a testek egyensúlyát.

3. A STATIKA AXIÓMÁI

A statika axiómái a merev testek egyensúlyi állapotára vonatkoznak (Szily [2], CSOLNOKY [3]). A statika axiómáit CSOLNOKY [3], alapján ismertetjük.

Az axiómák elsősorban az erőkre vonatkozik. A negyedik axióma az erőknek speciálisan a merev testek egymásra hatása esetére vonatkozóan tartalmaz kijelentést. Ezért az axiómák ismertetése előtt az alapfogalmakat – test, merev test, erő, erő adatai, egyensúlyi állapot – adjuk meg.

CSOLNOKY a test fogalmát nem adja meg. Azt adja meg, hogy a fizika, és így a mechanika olyan jelenséggel foglalkozik, amely során a „testek anyagi, kémiai összetétele nem változik” (CSOLNOKY [3]; p. 20). Ez a kikötés sem a test halmazállapotára, sem a test belső szerkezetére, pontosabban annak „állapotállandóságára” nem vonatkozik. Az anyagi és a kémiai összetétel állandósága mellett az anyag megjelenési formája igen különböző lehet: gáznemű, folyadék, szemcsés vagy szilárd. Léteznek átmeneti formák, mint a sűrű folyadék (paszta), a szilárd testek képlékeny alakváltozása, vagy a rugalmas folyadék (lásd pl. LÁMER [7,8]. A test fogalmát nem csak az anyagi és kémia állandóságához, hanem belső rendjéhez is kötjük.

A test (absztrakt) értelmezése: a test több pont olyan együttese, amely pontok együttesen mozognak, és a test bármely két pontjának egymáshoz viszonyított elrendezése (a pontok egymáshoz viszonyított helyzete, azaz egymás utánisága) állandó, továbbá a testet alkotó pontok együvé tartozása megmarad. Általánosságban testnek az euklideszi tér egy olyan véges térfogatú tartományát tekintjük, amelyet mechanikai tulajdonságokkal – elsősorban tömeggel – ruházunk fel.

A merev test értelmezése: „Merev testen olyan képzelt testet értünk, amely alakját és méreteit semmiféle külső behatás alatt nem változtatja meg.” (CSOLNOKY [3]; p. 20).

A külső behatást célszerű lehet mechanikai hatásokra szűkíteni. Ezért a test (absztrakt) értelmezésével összhangban célszerű újrafogalmazni a merev test fogalmát.

A merev test (absztrakt) értelmezése: Egy testet akkor tekintünk *merev test*nek, ha a testet ért mechanikai hatások alatt a test bármely két pontja közötti távolság állandó.

Az erő értelmezése: „Az erő tehát olyan képzelt fogalom, amellyel valamely testnek egy másik test mozgásállapotát, vagy méreteit megváltoztató hatása egyértelműen jellemezhető, megadható”. (CSOLNOKY [3]; p. 33.)

Egy axiomatikus felépítésben az egyértelmű jellemezhetőség „magától érthető” követelmény, ezért annak külön kikötését nem tartjuk szükségesnek. Továbbá, ma már a mechanika körébe nem csak a mozgásállapot megváltozása, az alak megváltozása, hanem a test épsége is beletartozik. A mechanika keretein belül vizsgáljuk a test, mint anyag tönkremenetelét, mint például repedések kialakulását, törések létrejöttét, képlékeny alakváltozás lezajlását, továbbá a test, mint (tartó)szerkezet tönkremenetelét, végezetül a test mechanikai állapotának (helyzeti

és strukturális) stabilitásvesztését is. Ezek a jelenségek valójában nem az erőt, hanem az erőnek a testre gyakorolt hatását adják meg. Ezért ezek az erő értelmezéséből kihagyhatóak. Ennek megfelelően újraértelmezzük az erő fogalmát is.

Az erő (absztrakt) értelmezése: Az erő két test egymásra hatásának mechanikai modellje.

Az erő adatai. „Az erőt négy adat jellemzi: a támadáspont, az állás (az erő hatásvonala), az értelem és a nagyság.” (Lásd CHOLNOKY [3] p. 36).

Az egyensúlyi állapot értelmezéséhez egy fogalomra van szükségünk: a test nyugalmi állapotára.

A nyugalmi állapot értelmezése: „a kiválasztott testhez rögzített koordináta-rendszerből megfigyelve egy másik testet, azt találjuk, hogy gyakorlatilag egyetlen pontjának koordinátái sem változnak meg az időben. Ilyenkor erről a másik testről azt mondjuk, hogy *nyugalomban van*.” (Lásd CHOLNOKY [3], p. 22; kiemelés ott.) (A viszonyítás kérdésével később foglalkozunk.)

Az egyensúlyi állapot és erőrendszer értelmezése: „Valamely erőrendszerről akkor mondjuk, hogy egyensúlyban van, ha azt bármely eredetileg nyugalomban lévő merev testre működtetve a test továbbra is nyugalomban marad.” (Lásd CHOLNOKY [3], p. 43.) Egy egyensúlyban lévő erőrendszer az „*egyensúlyi erőrendszer*” (lásd CHOLNOKY [3], uo.).

Ugyanakkor a nyugalom a test mozgásállapotának egy speciális esete. Az egyensúly értelmét nem változtatja meg, ha nyugalom helyett a test általánosságában vett – merevtestszerű – mozgásállapotát tekintjük. Ennek megfelelően újrafogalmazzuk az egyensúlyi erőrendszer fogalmát.

Az egyensúlyi erőrendszer (absztrakt) értelmezése: Egy erőrendszer egyensúlyban van, ha az erőrendszert egy meghatározott mozgás(állapot)ban lévő merev testre működtetve a merev test továbbra is ugyanabban a mozgás(állapot)ban marad.

Megjegyzés: az alak megváltozásának megmaradása nem alkalmas feltétel az egyensúlyi erőrendszer értelmezésére, mivel egy nyugalomban lévő testre ható egyensúlyi erőrendszer a test alakját megváltoztatja.

A statika axiómái a következők.

A statika 1. axiómája. „Két erő akkor és csakis akkor van egyensúlyban, ha hatásvonaluk közös, értelmük ellenkező és nagyságuk egyenlő.” (CHOLNOKY [3], p. 47.)

Ez az axióma két, egyensúlyban lévő erő megadásával rögzíti, hogy létezik egyensúlyi erőrendszer.

Ez az axióma két erő egyensúlyát a támadáspontoktól függetlenül határozza meg: az egyensúly fennállásának feltételei között az erők támadáspontjai egyszerűen nem szerepelnek. Következésképpen két erőnek az egyensúly fennállásához nem kell ugyanabban a pontban hatniuk, az egyensúly feltétele csak a hatásvonalak egybeesését köti ki (az azonos nagyságon és az ellentétes értelmén kívül).

A statika 2. axiómája. „Közös támadáspontú három erő akkor és csakis akkor van egyensúlyban, ha vektoraik összege zérus.” (CHOLNOKY [3], p. 48.)

Ez az axióma hallgatólagosan már felhasználja azt, hogy az erővektorok független entitásként vannak jelen, továbbá, hogy vektorokként összegezhetőek. Ugyanis ezek a feltételei annak, hogy a három erővektor összegét azonosítsuk a három erő egyidejű hatásával egyenértékű erővel.

A zárt, nyílfolytonos vektorpoligonból már következik, hogy a három erőnek egy síkban kell lennie.

A statika 3. axiómája. „Valamely egyensúlyban lévő erőrendszerhez az egyensúly megzavarása nélkül lehet hozzátenni olyan erőket, amelyek önmaguk között egyensúlyban vannak, és ugyancsak az egyensúly megzavarása nélkül lehet eltávolítani önmaguk között egyensúlyban lévő erőket.” (CHOLNOKY [3], p. 49.)

Ez az axióma azt rögzíti, hogy egy egyensúlyi erőrendszerből hogyan lehet egy másik egyensúlyi erőrendszert nyerni. Az új egyensúlyi erőrendszer képzéséhez csak és kizárólag egyensúlyi erőrendszer használható: vagy két egyensúlyi erőrendszert „adunk össze”, vagy egyensúlyi erőrendszerből annak egy részét képező egyensúlyi részerőrendszert „vonunk ki”. Nem egyensúlyi erőrendszerből egyensúlyi erőrendszer nem képezhető. Ezt úgy fogalmazzuk meg, hogy az egyensúlyi és a nem egyensúlyi erőrendszerek egymástól függetlenek.

A statika 4. axiómája. „Két merev test által egymásra kifejtett erők páronként fordulnak elő, párjával egy egyenesbe esnek, ellentett értelműek és egyenlő nagyságúak.” (CHOLNOKY [3], p. 50.)

Ez az axióma csak arról rendelkezik, hogy egy erőhatás párban ébred. Nem tartalmaz információt sem a párban ébredő erő számáról, sem az egy párban ébredő erők támadáspontjáról, és arról sem, hogy vajon a két merev test az erő létrejövése pillanatában külön-külön vajon mozdulatlanok, vagy mozgásban vannak. Arról sem beszél, hogy a párban ébredő erők létrejöttét követően a mozdulatlan testek mozgásba jönnek-e, vagy mozdulatlanok maradnak-e, illetve, hogy mozgó testek esetén a létrejövő erők megváltoztatják-e a mozgásállapotot, vagy sem.

A statika 4. axiómájában szereplő, két merev test között egy hatás folyományaképpen fellépő két erő, a statika 1. axiómája értelmében, egyensúlyban van.

A statika axiómaival kapcsolatban az alábbi megállapítások tehetők.

- Az axiómák nem tartalmazzák az erők létrejöttére vonatkozó információt azon kívül, hogy az erők párban ébrednek; az axiómák nem határozzák meg az erők létrejöttét.
- Az axiómákat formálisan a merev testek egyensúlyára vonatkoztatjuk. Valójában a statika első három axiómája egy erőrendszer egyensúlyához kapcsolódó, az egyensúly megállapítására alkalmas feltételeket tartalmaz attól függetlenül, hogy az erők merev vagy deformálható testeken hatnak, vagy az erők, mint matematikai objektumok, egyszerűen a („beágyazó”) térben adóttak. A statika 4. axiómája tartalmaz utalást a merev testekre, amennyiben a nevezett axióma két merev test egymásra hatása során párban fellépő erőkre tesz kikötéseket.
- Az axiómák mozgásról, a mozgásnak az egyensúlyi erőrendszerre gyakorolt hatásáról nem nyilatkoznak.
- Az axiómák a testek között fellépő erőknek az egyensúlyi állapotra és a mozgásállapotra gyakorolt hatásával nem foglalkoznak.
- Az axiómák testek eltolódására, forgására, alakváltozására, törésére, bármilyen időbeli változására nem vonatkoznak.
- Az axiómák a kényszererők kialakulását nem tartalmazzák, így azt sem, hogy egy felület alkotta kényszer esetén a kényszererő hogyan illeszkedik a felülethez.

A statika axiómáit elsősorban nyugalomban lévő merev testekre vonatkoztatjuk, amelyek „egysége” megmarad, azaz kizárjuk

- a testek alakváltozását (a test merev),
- a testek mozgását (a test mozdulatlan),
- a testek törését (a test „egysége” megmarad).

A statika keretén belül olyan feladatokat vizsgálunk, midőn egy adott erőrendszer hatására a mozdulatlan, egyensúlyban lévő merev testek rendszere átrendeződik, és mozdulatlan, egyensúlyi helyzetbe jut, de az oda vezető utat úgy képzeljük el, hogy az egyensúlyi elrendezés eléréséig a merev testek rendszerének átrendeződése éppenséggel „mozgás” nélkül megy végbe. A testek az átrendeződés során nem tesznek szert sem sebességre, sem gyorsulásra, csak helyük és helyzetük változik meg. Az egyensúlyi helyzet létrejötte végtelenül lassan megy végbe.

4. A NEWTONI AXIÓMÁK ÉS A STATIKAI AXIÓMÁK VISZONYA EGYMÁSHOZ

A két axiómarendszer két különböző mechanikai rendszer viselkedésének matematikai leírására vonatkozik. Ennek okán a két axiómarendszer jelentősen eltér egymástól. Ugyanakkor vannak azonos, illetve hasonló elemei.

Az 1. newtoni axióma rögzíti azt a mechanikai állapotot, amikor nem hat erő. A statika axiómái explicite nem foglalkozik ezzel az állapottal. Egy erőrendszer egyensúlyi volta fennállhat nyugalomban lévő, egyenes vonalú egyenletes mozgásban, továbbá gyorsuló test esetén is. Ennek rögzítése hiányzik a statika axiómáiból.

A 2. newtoni axióma rögzíti, hogy a hatás modellezésére értelmezett erő és a tényleges hatása (a nyugalom, illetve az egyenes vonalú egyenletes mozgás megváltozása, egy szóval a gyorsulás) egy irányba esnek. Mai megfogalmazásunk szerint lineáris arányosság áll fenn a mozgásállapot megváltozását kiváltó erő és a mozgásváltozást leíró/jellemző gyorsulás között, és az arányossági tényező a test tömege. A statikában az erő és a hatása között nincs kapcsolat. Elsősorban azért nincs, mert a statikában, különösen a merev testek statikájában, az erőnek nincs (kézzel fogható) hatása a merev testekre. Amit a statika valamely axiómája rögzíthetne, hogy az egyensúlyban lévő két merev test között létrejövő erő állását, nagyságát és értelmét éppen az egyensúly fennállásából lehet és kell meghatározni (már ha az értelmezett mechanikai rendszer erre alkalmas; a fogalmat megelőlegezve, statikailag határozott).

A 3. newtoni axióma rögzíti a hatás és ellenhatás elvét csakúgy, mint a statika 4. axiómája.

A 4. newtoni axiómának tekintett 1. származékos tétel a rögzíti, hogy az egy ponton áthaladó erők hatásukban függetlenek. Az 5. newtoni axiómának tekintett 2. származékos tétel rögzíti, hogy az egy ponton áthaladó erők vektorként összegződnek. Ezeket az állításokat a statika axiómái expliciten nem mondják ki, ugyanakkor a statika 3. axiómája használja fel ezeket az állításokat.

A newtoni axiómák, elsősorban a 4. és az 5. axiómák miatt, magukba foglalják, hogy egy merev test egyidejűleg végezzen két független mozgást, továbbá, hogy a két mozgás külön-külön és együttesen is vizsgálható. A statikában az erők függetlensége és a vektoriális összeadás (ha az erők egy pontba hatnak) nem ad útmutatás a mechanikai állapot – egyensúly – eldöntésére. Ugyanakkor a statika 3. axiómája rögzíti, hogy egyensúlyi erőrendszerek hogyan viszonyulnak egymáshoz: azok függetlenek, külön-külön és együtt is vizsgálhatóak, az egyensúly külön-külön és együtt is fennáll.

Mindkét axiómarendszer egy-egy speciális mechanikai rendszerre nézve rögzíti az erőkre vonatkozó ismereteket.

5. AZ ERŐKRE VONATKOZÓ AXIÓMÁKKAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

A testek erő hatása alatt történő viselkedését a tapasztalatból leszűrt ismeretekből, azokból elvonatkoztatott alaptételekből, *axiómákból* kívánjuk meghatározni.

Az axiómák megadása során az axiómákban szereplő mechanikai fogalmakat, mint például erő, test, mozdulatlanúság és mozgás, értelmezni kell. A fogalmak egy részét, elsősorban a kinematikához kapcsolódó fogalmakat, nem értelmezzük, feltesszük, hogy azok ismertek.

Az axiómarendszer felállításánál az alábbi elveket követjük.

Az axiómáknak rögzíteniük kell, hogy

- hogyan értelmezzük az erőt,
- az erőt milyen adatok határozzák meg,
- hogyan jellemezhető(k) a létrejött erő(k),
- milyen két erő egymásra hatása,

- milyen matematikai objektum az erő,
- milyen állapot áll fenn, ha működik, és ha nem működik valamely erő,
- miképpen lehet a mechanikai rendszerre jellemző erőket (egyensúlyi erőrendszer) meghatározni egy „elemi”, vagy egy „típus” rendszer esetében,
- hogyan lehet az egyik, a rendszerre jellemző (egyensúlyi) erőrendszerből származtatni egy attól eltérő, a rendszerre jellemző másik (egyensúlyi) erőrendszert létrehozni.

A fentiek alapján az axiómákat négy nagyobb csoportba osztjuk.

Az első csoportba az erő értelmezésével kapcsolatos ismereteket foglaljuk össze.

A második csoportban az erőket matematikai objektumként értelmezzük.

A harmadik csoportban az erőnek a testekre gyakorolt hatását rögzítjük.

A negyedik csoportban az erők és hatásaik között fennálló kapcsolatokat tárgyaljuk.

6. A MECHANIKA EGY, AZ ERŐKRE VONATKOZÓ AXIÓMARENDSZERE

6.1. Az erő értelmezésével kapcsolatos axiómák

Az erőt testek között fellépő hatásként kívánjuk értelmezni, ezért megadjuk a test értelmezését.

1. Definíció (A test értelmezése). A test több pont olyan együttese, amely pontok együttesen mozognak, és a test bármely pontjainak csoportján belül a pontok egymáshoz viszonyított elrendezése (a pontok egymáshoz viszonyított topológiai helyezte, azaz egymás utánisága) állandó, továbbá a testet alkotó pontok együvé tartozása megmarad. Általánosságban testnek az euklideszi tér egy olyan véges térfogatú tartományát tekintjük, amelyet mechanikai tulajdonságokkal – elsősorban tömeggel – ruházunk fel.

Az egyes mechanikai viselkedéshez köthető tulajdonságokat akkor értelmezzük, amikor az adott viselkedés előtérbe kerül.

Az első axiómában megadjuk, hogy az erő fogalmát: értelmezzük, hogy mit tekintünk erőnek

1. Axióma (Az erő értelmezésének axiómája). Az erő két test egymásra hatásának mechanikai modellje. Két test között fellépő egyféle hatást két erőként modellezzük: az *egyik* test hat a *másik* testre és viszont, a *másik* test hat az *egyik* testre.

Az *1. Axióma* szerint erő nem egy kézzel fogható entitás, hanem egy elgondolt fogalom. Mégis úgy fogunk fogalmazni, mintha az erő valami kézzel fogható dolog lenne, és azt fogjuk mondani, hogy az erő létrejött, az erő hat, az erő hatást fejt ki, vagy erőt működtetünk egy testre.

Visszatérve az erő értelmezésére, két test egymásra hatásakor, egyféle hatás esetén, két erő jön létre. Többféle hatás esetén két test egymásra hatásakor párban jönnek létre az erők, éppen annyi pár, ahányféle hatás áll fenn a két test között.

Legyen adott két test, *A* és *B*, álljon fenn közöttük egy hatás (pl. érintkeznek egy pontban, vagy gravitációs vonzás áll fenn közöttük). Mivel az *1. Axióma* csak azt rögzíti, hogy hatás lép fel, ezért a hatást „semleges” jellel, írott *F* betűvel jelöljük. A *B* test hatását az *A* testre jelöljük F_{AB} -vel, az *A* test hatását a *B* testre, jelöljük F_{BA} -vel. Amennyiben az *A* és *B* test között több hatás áll fenn (pl. több ponton érintkeznek, vagy gravitációs és elektromos vonzás, illetve taszítás is fennáll közöttük), úgy a több hatásnak megfelelően a párban fellépő erők egymástól különbözőek; F_{AB}^1 és F_{BA}^1 , valamint F_{AB}^2 és F_{BA}^2 az 1. és a 2. érintkezési pontban fellépő erők, illetve F_{AB}^G és F_{BA}^G , valamint F_{AB}^E és F_{BA}^E a gravitációs és az elektromos vonzás (taszítás) hatására fellépő erők.

A második axiómában rögzítjük, hogy az erőt milyen adatok jellemzik.

2. Axióma (Az erő adatainak axiómája). Az erőt a támadáspontja, a hatásvonala (azon belül

az egyenes állása), a nagysága és az értelme határozza meg. (Értelem: a támadáspont a hatásvonalat két félegyenesre osztja, az értelem adja meg, hogy erő melyik félegyenesbe esik.)

Az erő támadáspontját T -vel, hatásvonalát h -val a nagyságát $|F|$ -fel jelöljük. Ha hangsúlyozni kívánjuk, hogy a támadáspont, illetve a hatásvonal az F erőhöz tartozik, úgy a támadáspontot T_F -fel, a hatásvonalat h_F -fel, vagy egyszerűen f -fel jelöljük. Az értelmet a hatásvonal irányításához kötjük: ha az erő nyíla a hatásvonal pozitív irányába mutat, akkor pozitív, ellenkező esetben negatív.

A harmadik axiómában jellemezzük a létrejött erőket.

3. *Axióma (A hatás és az ellenhatás axiómája).* Két test között minden hatás következtében fellépő két-két erőt a következőképpen jellemezzük: az egyféle hatástól fellépő két erő hatásvonalára egybeesik, a két erő nagysága azonos, és értelmük ellentétes.

Azt mondjuk, hogy két test között hatásonként fellép egy „hatás” és egy „ellenhatás”, egy erő és egy ellenerő, röviden „hatás–ellenhatás”, vagy „akció–reakció”.

Az erők támadáspontjáról a 3. *Axióma* nem „rendelkezik”. Különböző mechanikai-fizikai jelenségek esetén a támadáspontokat különböző helyen értelmezzük. Például gravitáló testek esetén a gravitáló test súlypontjához kötjük a gravitációs erőt. Tehát egy központi égitestben, és a központi égitest körül keringő égitestben a gravitációs hatás során ébredő erők egymástól messze fejtik ki hatásukat. Érintkező testek esetén az érintkezési ponthoz kötjük az érintkezési erőket.

Két, vagy több hatás, azaz két, vagy több párban ébredő erő létrejöttkor rögzíteni kell, hogy egy hatás következtében fellépő erő és reakcióerő hogyan jön létre egy azoktól függetlenül értelmezett erőhatás hiányában, illetve annak jelenlétében.

A negyedik axiómában rögzítjük két vagy több erőhatás egymásra gyakorolt hatásának módját, pontosabban két vagy több erőhatás egymástól való függetlenségét.

4. *Axióma (Az erők függetlenségének axiómája).* Az egyes erők egymástól függetlenül hatnak.

Legyen adott három test, A , B és C . A B test hatását az A testre, midőn nincs jelen a C test, jelöljük $F_{AB}(\emptyset)$ -vel, és $F_{AB}(C)$ -vel, ha a C test jelen van. Az erők függetlensége azt jelenti, hogy $F_{AB}(\emptyset)$ megegyezik $F_{AB}(C)$ -vel, azaz az A és B test egymásra hatását a C test nem befolyásolja. Természetesen az axióma azokra az esetekre is vonatkozik, amikor az A és B testen kívül több C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) test is adott. Ebben az esetben a C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) testek nélkül ébredő $F_{AB}(\emptyset)$ erő megegyezik bármely C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) test jelenlétében ébredő $F_{AB}(C_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) erővel, bármely két, C_i és C_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$, $i \neq j$) test mellett ébredő $F_{AB}(C_i, C_j)$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$, $i \neq j$) erővel, illetve a C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) testek tetszőleges tagú C_i, C_j, \dots, C_l ($i \neq j, \dots, i \neq l, \dots, j \neq l, \dots, i, j, \dots, l = 1, 2, \dots, n$) kombinációja mellett ébredő $F_{AB}(C_i, C_j, \dots, C_l)$ ($i \neq j, \dots, i \neq l, \dots, j \neq l, \dots, i, j, \dots, l = 1, 2, \dots, n$) erővel.

6.2. Az erő, mint matematikai objektum

Az ötödik axiómában adjuk meg, hogy az erő milyen matematikai objektum.

5. *Axióma (A matematikai objektum kiválasztásának axiómája).* Az erő vektormennyiség.

Mivel ez az axióma rögzíti, hogy a hatást vektorként modellezzük, ezért a hatást – az erőt – a továbbiakban félkövér \mathbf{F} betűvel jelöljük. A fenti példában a B test hatását az A testre \mathbf{F}_{AB} -vel, az A test hatását a B testre \mathbf{F}_{BA} -val, az erők nagyságát F_{AB} -vel és F_{BA} -val jelöljük.

Két, vagy több hatás, azaz egy testre nézve két, vagy több erő létrejöttkor rögzíteni kell azt a tényt, hogy ha két vagy több erőt egyidejűleg értelmezzünk, akkor azok együttesen hogyan hatnak a testre. Ezt a hatodik axiómában rögzítjük.

6. *Axióma (Az erők együttes hatásának axiómája).* Az egyes egymástól függetlenül ható,

azonos támadáspontú erők vektorként összegződnek.

A 6. Axióma azt rögzíti, hogy két azonos támadáspontú erő vektorként összegződik: együttes hatásuk vektorösszegzéssel határozható meg. Az „összegzett” erő támadáspontja az erők közös támadáspontja, hatásvonalát, nagyságát, valamint értelmét a vektorösszegzés szabályai alapján határozzuk meg.

A 6. Axióma különböző támadáspontú erők együttes hatásának meghatározásának módjára nem vonatkozik. Ez önálló vizsgálatot igényel.

Megjegyzés. 1. Két kitérő hatásvonalú erők „összegzése” (pontosabban hatásainak összegzése) nem vektorösszegzéssel, hanem az erőcsavarok összegzésével történik (lásd pl. BALL [9]). 2. Az erő összegzésének akkor van értelme, ha az erő hatására létrejött változások is „összeadhatók”. A kinematikában ez teljesül, mert egyrészt az erő hatására gyorsulás jön létre, másrészt ugyanazon anyagi pont két gyorsulása vektoriálisan összeadható.

6.3. Az erő hatása testekre: mozgás és mozdulatlanság

Ebben bekezdésben a következő lehetőségeket kell elkülöníteni:

- Semmilyen erő nem hat a testre
- Az erőn kívül kényszer állhat fenn: rákényszeríti a testet, hogy egy, vagy több pontja meghatározott mértani helyen tartózkodjon
- Egy erő hat a testre és nem áll fenn kényszer
- Több erő hat testre, nem áll fenn kényszer és a test mozdulatlanság állapotában van: ez az állapot ad lehetőséget az egyensúlyi erőrendszer értelmezésére
- Az egyensúlyi erőrendszer létezését axiómával kell „biztosítani”
- Ha adott két, illetve több egyensúlyi erőrendszer, abból hogyan képezhető egy további egyensúlyi erőrendszer (az egyensúlyi erőrendszerek közötti műveletek értelmezése)
- Egy erő hat a testre és fennáll egy kényszer

A fenti program első lépéseként, a hetedik axiómában, adjuk meg azt a tényt, hogy erőhatás nélkül egy test mozdulatlan állapotban van. Ehhez néhány fogalmat kell rögzíteni.

Abból indulunk ki, hogy az erő két test egymásra hatásának modellje, tehát ahhoz, hogy egy testre ne hasson egy másik test, az szükséges, hogy ne is legyen egyetlen egy másik test sem a vizsgált testen kívül. Tehát az erő nélküli test olyan modellalkotás, amely során a Világmindenséget és a vizsgált testet szétválasztjuk egymástól azért, hogy a test viselkedését függetleníthessük a Világmindenségtől, és a figyelmünket csak a testre fordíthassuk. A továbbiakban két (illetve azok kombinációjaként három) eset lehetséges: a testre a Világmindenségtől ugyanígy elválasztott másik test(ek) hat(nak), vagy maga a Világmindenség, illetve mindkettő. Az első esetben teljesen elválasztjuk egymástól a vizsgálat tárgyait képező testeket és a Világmindenséget, a második, illetve a harmadik esetben a Világmindenség, mint a vizsgált test(ek) környezete jelenik meg. Az erők értelmezésének szempontjából a Világmindenség hatása egy (esetleg több) test hatásának tudható be. Ezért az erőnek, mint modellnek a megalkotása szükségessé teszi, hogy eltekintsünk a Világmindenségtől, és helyette olyan „környezetben” vizsgálódjunk, amelyben előállhat az az állapot, hogy nem hat erő.

A mozdulatlanságot, illetve mozgást csak egy, pontosabban három másik testhez viszonyítva lehet értelmezni.

2. *Definíció (A mozdulatlanság értelmezése).* Egy test akkor mozdulatlan, ha a test minden pontja három kiválasztott (referencia) testtől való távolsága időben nem változik. (A kiterjedéssel bíró test helyett elegendő azok egy-egy pontját referencia pontnak választani.)

A mozgás a mozdulatlansággal egyidejűleg értelmezhető – értelmezendő.

3. *Definíció (A mozgás értelmezése).* Ha egy test bármely pontjának a három referencia ponttól mért távolságai közül legalább egy időben változik, akkor a test mozgásban van.

Megjegyzések. 1. Az időt nem értelmezzük. Az idő értelmezéséhez a Földnek a Nap körüli keringését szokás felhasználni (lásd pl. Chólnoky [3], p. 18-20). 2. Elemi geometriai összefüggésekkel megmutatható, hogy három pont helyett a mozdulatlanság és a mozgás kimutatására megfelelő a vizsgált test minden pontjának egy koordinátarendszerben meghatározott három koordinátájának időbeli állandósága, illetve időbeli változása. 3. A mozdulatlanság és a mozgás értelmezése során hallgatólagosan a három referencia test egy-egy referencia pontját mozdulatlanak tételezzük fel, pedig azok maguk is mozoghatnak valamely más, mozdulatlanak tekintett testhez viszonyítva. Ezzel a kérdéssel részletesebben foglalkozunk.

A viszonyítást adó (tehát a referencia) testek más testhez viszonyítva lehetnek mozdulatlanok, vagy végezhetnek mozgást. Ezért újabb viszonyítást adó (azaz referencia) testeket kell választani. A referencia testek összekeverését elkerülendő elsődleges, másodlagos, harmadlagos stb. referencia testekről fogunk beszélni. Az elsődleges referencia testek esetében el kell döntenünk, hogy azok mozdulatlanságának meghatározására szolgáló másodlagos referencia testek vajon a testek egy újabb – a harmadlagos referencia testek – csoportjához viszonyítva mozdulatlanok, vagy mozognak. És a mozdulatlanság és a mozgás meghatározásához a viszonyítási testek kiválasztása vég nélkül folytatódhat. Ezt úgy lehet megszüntetni, ha értelmezzük az abszolút mozdulatlan testeket. Ez utóbbi nem létezik, lévén, hogy a Világmindenségben minden mozog. Marad a gyakorlatilag mozdulatlanak tekinthető testek rendszere. Ezt fogjuk egyszerűen mozdulatlan környezetnek nevezni. Ez az, amit Newton inerciarendszernek, abszolút nyugalomban lévő rendszernek nevez.

A mozdulatlan állapot és mozgásállapot vizsgálata rámutat arra (GALILEI [10], Kepler és Descartes, lásd BUDÓ [6], p. 37), hogy a mozdulatlanság és az egyenes vonalú egyenletes mozgás, valamint az erő összefügg:

- egy test, amelyre nem hat erő, az más testekhez képest nyugalomba lévő testekhez viszonyítva lehet nyugalomban is, és végezhet egyenes vonalú egyenletes mozgást is, továbbá
- egy test, amelyre nem hat erő, az más testekhez képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző testekhez viszonyítva *is* lehet nyugalomban is, és végezhet egyenes vonalú egyenletes mozgást is.

Vagyis mind a test nyugalma és egyenes vonalú egyenletes mozgása, mind a viszonyítást adó környezet nyugalma és egyenes vonalú egyenletes mozgása felcserélhető, *amennyiben erő nem hat a testre*. Azaz a hetedik axiómában nem csak egy test állapotát kell kimondani abban az esetben, ha nem hat erő testre, hanem azt is, hogy az állapot leírásához léteznek olyan környezetek (koordinátarendszerek), amelyekben létezik az az állapot, hogy a testre nem hat erő.

7. Axióma (A mozdulatlan környezet és a mozdulatlanság axiómája). Léteznek olyan, egymáshoz képest mozdulatlan, illetve egyenes vonalú egyenletes mozgást végző környezetek (koordinátarendszerek), amelyekben egy test, amelyre nem hat egyetlen egy erő sem, mozdulatlan, illetve egyenes vonalú egyenletes mozgást végez.

A 7. Axióma tehát kimondja, hogy

- létezik a (Világmindenséget a vizsgált test helyének azonosítás céljából leegyszerűsítő) környezetek egy olyan osztálya, amely elemei ekvivalensek,
- ennek az osztálynak az elemei egymáshoz képest nyugalomban vannak, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végeznek,
- az ezekben a környezetekben magára hagyott (erőmentes, erőhatás nélküli) test maga is nyugalomban van, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez.

Megjegyzés. A nyugalom kifejezés elhagyható, mivel a sebesség közé tartozik a nulla sebesség, azaz a nyugalom is.

A továbbiakban a megadott környezetet inerciarendszernek nevezzük. A gyakorlati számí-

tásokhoz a környezetet koordinátarendszerként adjuk meg.

Földi körülmények között, első közelítésben, a Földhöz kötött koordinátarendszer tekinthető inerciarendszernek. A statikai feladatok esetében a Földhöz kötött koordinátarendszer alkalmazása kielégítő pontosságú számításához vezet. Léteznek olyan mozgásformák, amelyek leírása-magyarázata során figyelemmel kell lenni a Föld forgására (mint például lövedék pályájának meghatározása, síkbeli inga függőleges tengely körüli körbeforgásának magyarázata, folyadék örvénylése irányának értelmezése az edény alján történő kifolyás esetén). Összetettebb mozgásformák esetén az úgynevezett állócsillagokhoz rögzített koordinátarendszer tekinthető inerciarendszernek. (Lásd még BUDÓ [6], p. 37.)

A továbbiakban feltesszük, hogy a jelenség leírására használt koordinátarendszer inerciális. Az egyszerűbb szövegezés végett rendszerint nem írjuk ki sem a test, sem az inerciális rendszer esetében, hogy a test, illetve inerciális rendszer lehet nyugalomban és végezhet egyenes vonalú egyenletes mozgást, hanem csak annyit, hogy nyugalomban van. Tehát, ha azt írjuk, hogy a test nyugalomban van, akkor ez alatt azt értjük, hogy van olyan mozdulatlan inerciarendszer, amelyben a test mozdulatlan.

A 7. Axióma arra az állapotra vonatkozik, amikor a testre nem hat erő; másképpen fogalmazva, nem hat rá egy másik test. Külön axiómában rögzítjük, ha a testre egy erő hat. Ugyanakkor egy testre nem csak erő működhet, hanem pontjainak mozgását megakadályozó kényszer is, amelyhez erőt – kényszererőt – rendelünk.

4. Definíció (A kényszer (támasz) értelmezése). Egy test valamely pontjának eltolódását meggátló másik testet kényszernek (támasznak) nevezzük.

5. Definíció (A kényszererő (támaszerő) értelmezése). Egy kényszer hatása alatt álló testre a kényszer felől, a kényszer által rögzített pontban ébredő, a gátolt mozgás állásával megegyező állású erőt kényszererőnek (támaszerőnek) nevezzük.

6. Definíció (Az egyensúlyi erőrendszer értelmezése). Legyen adott egy mozdulatlan test, amely nem áll kényszer alatt. Működtessünk a testre több erőt, amelyek hatása alatt a test továbbra is mozdulatlan marad! Ebben az esetben a testre működő erőrendszert egyensúlyi erőrendszernek nevezzük.

A testre ható erő hatását külön kell vizsgálni kényszer nélküli és kényszer fennállásának eseteire. Egy kényszer nélküli testre ható erő esetét a nyolcadik axiómába rögzítjük.

8. Axióma (A mozgás axiómája). Egy nyugalomban lévő test, amelyre hat egy erő, és nem áll kényszer hatása alatt, nem marad mozdulatlan (a mozdulatlan környezethez viszonyítva), hanem (gyorsuló) mozgásba jön.

A 8. Axióma azt a tényt rögzíti, hogy a kényszer nélküli testek erőhatás alatt mozogni kezdenek. A mozgás mikéntjét – a test típusától függően – önálló axióma rögzíti. Ugyanakkor kizárható, hogy a mozgás egyenes vonalú egyenletes mozgás legyen, mivel a mozdulatlan test állapotának leírásához választható olyan inerciarendszer is, amelyből a mozgás eleve egyenes vonalú egyenletes mozgásnak tűnik. Ezért írtuk zárójelbe, hogy a mozgás gyorsuló.

A kényszer(ek) fennállása esetén egy erő hatása alatt álló testre a kényszer(ek) felől fellépő erők is hatnak. Ezt a tényt rögzíti a kilencedik axióma.

9. Axióma (A kényszererő (támaszerő) ébredésének axiómája). Egy test, amelyre nem hat erő, és kényszer hatása alatt áll, a kényszer felől a testre ható erő nem ébred. Egy test, amelyre hat egy erő, és egy kényszer hatása alatt áll, a kényszer felől, a kényszer által rögzített pontban, a testre ható erőnek a gátolt mozgás hatásvonalába eső komponensével megegyező nagyságú, de ellentétes értelmű kényszererő (támaszerő) ébred. Egy test, amelyre több erő hat, és több kényszer hatása alatt áll, a kényszersok felől, a kényszersok által rögzített pontokban, a gátolt mozgás hatásvonalában kényszererők (támaszerők) ébrednek. Az erők nagysága abból a feltételből határozható meg, hogy a testre ható erők és kényszererők a térben (a test mozgását a kényszersok a térben gátolják), vagy a tér egyik, vagy másik alterében (a test mozgását a

kényszerek a tér egyik, vagy másik alterében térben gátolják) egyensúlyi.

A 9. Axióma rögzíti, hogy milyen feltétel mellett ébred, vagy nem ébred kényszererő. Továbbá egy erő és egy kényszer esetén meghatározza a kényszererő állását, nagyságát és értelmét. Több erő és több kényszer esete önálló vizsgálatot igényel. Mivel az egyensúly általános feltételeit nem értelmeztük, ezért a 9. axióma általánosságban a kényszererők meghatározásának módját nem is tartalmazhatja.

Az egyensúlyi erőrendszer és a kényszererők fogalmával elkülöníthetők egy erők és kényszerek hatása alatt álló test mechanikai állapotai.

1. Következmény. Legyen adott egy test, amelyre egyidejűleg több erő hat, valamint több kényszer hatása alatt áll. Ha az erők, valamint a kényszererők együttesen

- egyensúlyi erőrendszert alkotnak, úgy a test mozdulatlan marad,
- nem alkotnak egyensúlyi erőrendszert, akkor a test mozgásba jön.

Megjegyzés. Amennyiben ismert az egyensúlyi erőrendszer fennállásának feltétele, úgy az első következmény éppen arra használható fel, hogy meghatározzuk a kényszererőket.

Az egyensúlyi erőrendszer értelmezése nem biztosítja, hogy egyensúlyi erőrendszer létezik, és nem is adja meg az egyensúlyi erőrendszer meghatározásának módját. A tízedik axiómában két erő esetére megadjuk az egyensúly fennállásának szükséges és elégséges feltételét, ezzel együtt megadunk egy egyensúlyi erőrendszert.

10. Axióma (Két erő egyensúlyának axiómája; egyensúlyi erőrendszer létezésének axiómája). Két megegyező hatásvonalú, azonos nagyságú és ellentétes értelmű erő egyensúlyban van.

A 10. Axióma két, egyensúlyban lévő erő megadásával rögzíti, hogy létezik egyensúlyi erőrendszer.

A 10. Axióma gyakorlatilag a statika 1. axiómája (kismértékben átfogalmazva). Ezért erre az axiómára is vonatkoznak a statika 1. axiómája után tett megállapítások. Nevezetesen, hogy két erő egyensúlyát a támadáspontoktól függetlenül határozza meg, az egyensúly fennállásának feltételei között az erők támadáspontjai nem szerepelnek, azaz két erőnek az egyensúly fennállásához nem kell ugyanabban a pontban hatniuk, az egyensúly feltétele csak a hatásvonalak egybeesését köti ki (az azonos nagyságon és az ellentétes értelműen kívül).

2. Következmény. Két test között létrejövő hatás–ellenhatás során fellépő két erő egyensúlyban van.

3. Következmény. A két egymásra ható test nem kell, hogy egyensúlyban, illetve nyugalomban legyen. Lásd pl. a gravitációs vonzerőt a mozgó bolygók és a Nap között.

Azt a tényt, hogy a hatás–ellenhatás során fellépő két erő egyensúlyban van, úgy is megfogalmazhatjuk, hogy az A és B test egymásra hatás során létrejövő \mathbf{F}_{AB} és \mathbf{F}_{BA} erők egymás ellentettjei.

Egy \mathbf{F} erő ellentettjét jelölje \mathbf{F}' . A 10. Axióma szerint az \mathbf{F} és \mathbf{F}' erőkből álló erőrendszer egyensúlyi, azaz $\{\mathbf{F}, \mathbf{F}'\} \sqsubset \{\mathbf{0}\}$. A 10. Axióma szerint az \mathbf{F} és \mathbf{F}' erők egymás ellentettjei. Ebből az következik, hogy nem csak az \mathbf{F}' erő ellentettje \mathbf{F} -nek, hanem az \mathbf{F} erő is ellentettje az \mathbf{F}' erőnek, azaz az $(\mathbf{F}')'$ megegyezik az \mathbf{F} erővel; $(\mathbf{F}')' = \mathbf{F}$.

Egy erő ellentettjének fogalmával a 3. Axióma átfogalmazható.

3'. Axióma. Két test között minden hatás következtében egy erő és annak ellentettje ébred.

Mivel az 5. Axióma szerint az erő vektormennyiség, ezért ha egy erőt egy \mathbf{F} vektorral azonosítjuk, úgy az erő ellentettjét az ellentétes előjelű $-\mathbf{F}$ vektorral azonosítjuk, azaz $\mathbf{F}' = -\mathbf{F}$. Ebben a jelölésben „ $-$ ” nem „kivonás”, hanem az ellentettképzés jele. A vektoralgebrából ismert, hogy vektorok egy rendszerének és egy vektor ellentettjének együttese megegyezik a vektorok rendszerének és a vektornak a különbségével. Ebből a szempontból az ellentettképzés és az erő kivonása egybeesik $\{\mathbf{A}_i, \mathbf{F}'\} \sqsubset \{\mathbf{A}_i, -\mathbf{F}\}$.

Az erő ellentettje fogalmát felhasználva bevezetjük egy erőrendszer ellentettjének a fogal-

mát. Ha adott egy $\{A_i\}$ erőrendszer, és abban minden erő helyett annak ellentettjét vesszük, akkor kapjuk az ellentett erőrendszert: $\{A'_i\} = \{A_i\}'$. A 10. Axióma szerint egy erőrendszer és annak ellentett erőrendszere *együttesen* egyensúlyi erőrendszert ad: $\{\{A_i\}, \{A_i\}'\} \sqsubseteq \{0\}$.

A tizenegyedik axiómában megadjuk egy egyensúlyi erőrendszerből egy másik egyensúlyi erőrendszer előállításának módját.

11. Axióma (Egyensúlyi erőrendszerek szuperpozíciójának elve (axiómája)). Ha egy egyensúlyi erőrendszerhez egyensúlyi erőrendszert csatolunk, vagy egy egyensúlyi erőrendszerből az azon belül kijelölhető egyensúlyi alrendszert elveszünk, úgy a nyert erőrendszer továbbra is egyensúlyi.

A 11. Axióma kimondja, hogyha adott két egyensúlyi erőrendszer, $\{A_i\} \sqsubseteq \{0\}$ és $\{B_j\} \sqsubseteq \{0\}$, akkor azokból hogyan képezhető egyensúlyi erőrendszer: a két független egyensúlyi erőrendszert kapcsoljuk össze, azaz tekintsük a két összekapcsolt erőrendszert egy erőrendszernek. Az így nyert erőrendszer szintén egyensúlyi: $\{\{A_i\}, \{B_j\}\} \sqsubseteq \{0\}$. Továbbá a 11. Axióma kimondja, hogy ha adott egy egyensúlyi erőrendszer, $\{C_i\} \sqsubseteq \{0\}$, amely felbontható két alrendszerre úgy, hogy az egyik egyensúlyi, $\{C_i\} \sqsubseteq \{\{A_i\}, \{B_j\}\}$ és $\{B_j\} \sqsubseteq \{0\}$, akkor az eredeti egyensúlyi erőrendszerből elhagyva az egyensúlyi alrendszert a maradék alrendszer is egyensúlyi: $\{A_i\} \sqsubseteq \{0\}$.

Megjegyzés. A statikában szokás a két erő egyensúlyán kívül a három erő egyensúlyára vonatkozó állítást, mint axiómát kimondani.

Három erő egyensúlyának axiómája. Három erő akkor és csak akkor van egyensúlyban, ha a három erő hatásvonalai egy pontban metszik egymást, és a három erő vektora zárt, nyílfolytonos vektorpoligont alkot.

A Három erő egyensúlyának axiómája nem független a fentebb megadott axiómarendszer-től. A Három erő egyensúlyának axiómája következik Az erők függetlenségének axiómájából (4. Axióma), A matematikai objektum kiválasztásának axiómájából (5. Axióma), Az erők egymásra hatásának axiómájából (6. Axióma) és az Egyensúlyi erőrendszerek szuperpozíciójának elvéből (11. Axióma).

Az eddigi axiómákban elkülönítettük a mozgást és egyensúlyt. Felmerül az a kérdés, hogy vajon a két jelenség hogyan viszonyul egymáshoz, pontosabban, hogy az egyik jelenlétében a vajon a másik állapot megváltozik-e. Erre a választ a tizenkettedik axiómában fogalmazzuk meg: az egyensúlyi állapot és a mozgás független mechanikai állapotok.

12. Axióma (Az egyensúly és a mozgás függetlenségének axiómája). Ha egy mozgásban lévő testre egy egyensúlyi erőrendszer hat úgy, hogy test mozgását meghatározó paraméterek (gyakorlatilag) változatlanok, akkor a test mozgását az egyensúlyi erőrendszer nem befolyásolja. És fordítva, egy nyugalomban lévő testre működtetett egyensúlyi erőrendszer nem változik meg (egyensúlyi erőrendszer marad), ha a nyugalom lévő test mozgásba jön úgy, hogy test mozgását meghatározó paraméterek (gyakorlatilag) változatlanok.

A 12. Axiómában egy kitétel kétszer is szerepel: „úgy, hogy test mozgását befolyásoló paraméterek (gyakorlatilag) változatlanok”. Az anyagi pont esetén a tömeg a szóban forgó paraméter. Ezt rendszerint sem a mozgással, sem az egyensúlyi erőrendszer működtetésével nem változik. A merev test esetén a tömeg és az inerciatenzor a szóban forgó paraméter. Ezek a paraméterek rendszerint sem a mozgással, sem az egyensúlyi erőrendszer működtetésével nem változnak. Deformálható szilárd testek esetén az egyensúlyi erőrendszer a tömeget nem, de a súly eloszlását, valamint a test inerciáját megváltoztathatja. Ennek következtében megváltozhat a mozgásállapot és megváltozhat – megszűnhet – az erőrendszer egyensúlya. Ezért a „kitétel”.

Megjegyzés. A 12. Axióma a mozgás és az egyensúly függetlenségét rögzíti. Ugyanakkor nem különíti el, hogy az egyensúlyban milyen mechanikai jelenség megy végbe: érintkezés, alakváltozás, átrendeződés, súrlódás stb. Ezt az erő meghatározására vonatkozó törvények

fogják megadni.

A mozgás és a mozdulatlanság axiómája arra figyelmeztet, hogy midőn két test között erőhatás lép fel, akkor a testek mozgásba jöhetnek. Az egyensúly vizsgálata során ezt a lehetőséget rendszerint kizárjuk. Ennek megfelelően rögzíteni kell, hogy az egyensúlyi rendszerben ébredő erő végtelen lassan éri el az értékét, és ennek során a test(ek) nem gyorsul(nak). Ezt fogalmazzuk meg a tizenharmadik axiómában.

13. Axióma (Egyensúlyi erő statikus hatásának elve (axiómája)). Az egyensúly kialakulása során fellépő erők végtelen lassan érik el az egyensúlyt biztosító értékeket, és ennek során az erők hatása alatt álló testek nem gyorsulnak.

Megjegyzés. Szükség esetén figyelembe vesszük, hogy a testek rendszere átrendeződik, de a mozgással (azaz a testek gyorsulásával), mint mechanikai állapottal, nem számolunk. Úgy is fogalmazhatunk, hogy az egyensúly létrejötté egy végtelen lassú átrendeződés.

6.4. Az erő és hatása között fennálló kapcsolat: az erőtvények

Az erő és hatása között fennálló kapcsolatok megadása előtt szükséges értelmezni a különböző testeket.

7. Definíció (Az anyagi pont értelmezése). Az anyagi pont a test olyan modellje, amelyben a test helyzetét egy pontjával, a referenciapontjával adjuk meg, és a test tömegét ebbe a pontba „sűrítjük bele”.

A referenciapont rendszerint a test súlypontja. Rendszerint használjuk a pontszerű test kifejezést is.

Az egyes erők és hatásuk közötti kapcsolatot az alábbi axiómák adják meg. Az erők matematikai megfogalmazása során a szakirodalomra támaszkodtunk (BUDÓ [6,10]).

14. Axióma (A gravitációs erők axiómája). Két gravitáló pontszerű test között ébredő erő (BUDÓ [6], p. 50):

$$\mathbf{F}_{grav} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}, \quad (1)$$

ahol:

- \mathbf{F}_{grav} – a gravitációs erő;
- m_i – a két test tömege, ($i = 1, 2$);
- \mathbf{r} – a két test súlypontját összekötő helyvektor;
- γ – az egyetemes gravitációs állandó.

15. Axióma (A súlyerő axiómája). A Földön található pontszerű súlyos testekre ható súlyerő (BUDÓ [6], p. 40):

$$\mathbf{G}_{súly} = m\mathbf{g}, \quad (2)$$

ahol:

- $\mathbf{G}_{súly}$ – a Földön ébredő súlyerő;
- m – a test tömege;
- \mathbf{g} – a gravitációs gyorsulás a földfelszínen.

16. Axióma (A kényszererő axiómája). Egy felülettel képzett kényszer alatt álló testre a kényszert alkotó felülettel érintkező pontban, a felületre merőleges erő ébred. Nagysága a mozgásegyenletekből, illetve az egyensúlyi feltételekből határozható meg (BUDÓ [6], p. 56).

17. Axióma (A súrlódási erő axiómája). Egy sík felülettel képzett kényszer alatt álló testet a felületre merőleges, G nagyságú erő szorítsa a kényszert alkotó felülethez. Hasson a testre a

felülettel párhuzamos erő. Ekkor a testre a felülettel érintkező felületén, a testre ható, a felülettel párhuzamos erővel ellentétes értelmű erő ébred (BUDÓ [6], p. 60):

$$\mathbf{F}_{súrl} \leq \mu G \frac{\mathbf{F}}{F}, \quad (3)$$

ahol:

$\mathbf{F}_{súrl}$ – a súrlódási erő;

\mathbf{F} – a testre ható, felülettel párhuzamos erő;

μ – a súrlódási együttható a test és kényszert adó felület között;

G – a testet a kényszert alkotó felülethez szorító, a felületre merőleges erő nagysága.

18. Axióma (Az anyagi pont gyorsulásának axiómája). Egy m tömegű (kényszer nélküli) anyagi pont egy \mathbf{F}_{gyors} erő hatása alatt az erővektorral megegyező állású gyorsulást szenved el (BUDÓ [6], p. 38):

$$\mathbf{F}_{gyors} = m\mathbf{a}, \quad (4)$$

ahol:

\mathbf{F}_{gyors} – a gyorsulást kiváltó erő;

m – az anyagi pont tömege;

\mathbf{a} – a test gyorsulása.

A merev test gyorsulását, szöggyorsulását nem kell önállóan posztulálni, azok levezethetők az anyagi pont gyorsulásából.

19. Axióma (Az elektromosan töltött részecskék között ébredő erő axiómája). Két elektromosan töltött pontszerű test között ébredő erő; a Coulomb-törvény, (BUDÓ [11], p. 16):

$$\mathbf{F}_{elektr} = K \frac{e_1 e_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}, \quad (5)$$

ahol:

\mathbf{F}_{elektr} – az elektromosan töltött részecskék között fellépő erő;

e_i – a két test elektromos töltése, ($i = 1, 2$);

\mathbf{r} – a két test súlypontját összekötő helyvektor;

K – az egyetemes elektromos vonzási állandó (a Coulomb-törvény állandója).

20. Axióma (A mágnesesen töltött részecskék között ébredő erő axiómája). Két mágnesesen töltött pontszerű test között ébredő erő (a mágneses Coulomb-törvény, BUDÓ [11], p. 74):

$$\mathbf{F}_{mágn} = C \frac{p_1 p_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}, \quad (6)$$

ahol:

$\mathbf{F}_{mágn}$ – az mágnesesen töltött részecskék között fellépő erő;

p_i – a két test mágneses (mono)töltése, ($i = 1, 2$);

\mathbf{r} – a két test súlypontját összekötő helyvektor;

C – az egyetemes mágneses vonzási állandó.

A fenti axióma felfogható a mágneses monopolokra vonatkozó erő axiómájaként, de felfogható mágnes dipólusok egy-egy pólusa között ébredő erőként is.

21. Axióma (Az elektromágnes térben mozgó, elektromosan töltött részecskére ható erők axiómája). Az elektromágnes térben mozgó, elektromosan töltött pontszerű részecskére ható

erők (Lorentz-erő, BUDÓ [11], p. 144):

$$\mathbf{F}_{Lorentz} = Q \left(\mathbf{E} + \frac{1}{c} [\mathbf{vB}] \right), \quad (7)$$

ahol:

$\mathbf{F}_{Lorentz}$ – az elektromágneses térben mozgó, elektromosan töltött részecskére ható erő;

Q – a test elektromos töltése;

\mathbf{v} – a test sebességvektora;

\mathbf{E} – az elektromos tér;

\mathbf{B} – a mágneses tér;

c – a fénysebesség.

8. *Definíció (A deformálható szilárd test értelmezése).* A deformálható szilárd test a test olyan modellje, amelyben a test helyzetét minden pontjának helyzetével adjuk meg; a test pontjai között a távolság megváltozhat, de a testet alkotó pontok egymáshoz való viszonya (sorrendje) változatlan. Nem a test tömegét, hanem a test fajlagos tömegét (sűrűségét) adjuk meg, és a test térfogatának, valamint a sűrűségének egyidejű figyelembe vételével határozzuk meg a test tömegét.

A referenciapontról rendszerint nem beszélünk. A test alakja, valamint a súlypontjának elhelyezkedése a testre ható erők alatt változhat.

9. *Definíció (Az erő–eltolódás diagram és elemeinek értelmezése).* Egy mozgás ellen rögzített deformálható szilárd testre hason egy erő, amely értéke zérustól növekszik a maximális értékig. Ezt a folyamatot felterhelésnek nevezzük. Az erő csökkentését a maximális értéktől a zérus értékig leterhelésnek nevezzük. A felterhelés és a leterhelés során mérjük a test egy pontjának, rendszerint a terhelő erő támadáspontjának az eltolódását. Az erőxeltolódás görbét felterhelési és leterhelési görbének nevezzük.

A felterhelési és a leterhelési görbe egymáshoz viszonyított helyzete alapján a deformálható szilárd testek alábbi viselkedési formáit különíthetjük el.

10. *Definíció (Az anyagi viselkedés értelmezése).* Amikor a felterhelési és a leterhelési görbék egybeesnek, akkor a test viselkedése *rugalmas*. Ha a rugalmas viselkedés során nyert felterhelési (és egyúttal leterhelési) görbe egyenes, akkor *lineárisan rugalmas* viselkedésről beszélünk. Amikor a felterhelési és a leterhelési görbék egymástól különböznek, és a leterhelési görbe (közel) párhuzamos a felterhelési görbe emelkedő ágával, akkor a test viselkedése *képlékeny*. Mind a rugalmas, mind a képlékeny viselkedés időben állandó: változatlan erőhatás mellett változatlan az eltolódás. Amennyiben állandó erőhatás mellett az eltolódás változik (nö), akkor *viszkózus* (időfüggő) viselkedésről beszélünk.

22. *Axióma (A rugalmas, képlékeny és viszkózus erők axiómája).* A deformálható szilárd test rugalmas, képlékeny és viszkózus viselkedése során a testben rugalmas, képlékeny, illetve viszkózus belső erők ébrednek.

Az erre vonatkozó összefüggések már a feszültségek és az alakváltozások között állnak fenn. Ezek felírása meghaladja a tanulmány célkitűzését. Az egyenletek felírása helyett a szakirodalomra utalunk [12,13,14].

7. AZ ERŐKRE VONATKOZÓ AXIÓMARENDSZER ÉS A NEWTONI AXIÓMÁK, VALAMINT A STATIKA AXIÓMÁI KÖZÖTTI KAPCSOLAT

Az erőkre vonatkozó axiómarendszer magába foglalja mind a newtoni axiómákat, mind a statika axiómáit.

A newtoni axiómák és az erőkre vonatkozó axiómák között a megfeleltetés a következő:

- Newton 1. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 7. és 8. axióma,
- Newton 2. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 18. axióma,
- Newton 3. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 3. axióma,
- Newton 4. axióma \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 4. axióma (az erők függetlensége)
- Newton 5. axióma \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 5. axióma (az erők vektormennyiségek), és 6. (az erők együttes hatása) axióma.

A statika axiómái és az erőkre vonatkozó axiómák között a megfeleltetés a következő:

- A statika 1. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 10. axióma,
- A statika 2. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 4., 5., 6. és 10. axiómákból következik,
- A statika 3. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 11. axióma,
- A statika 4. axiómája \Leftrightarrow az erőkre vonatkozó 3. axióma.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **NEWTON, I.:** *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Berkeley – Los Angeles – London, 1999. A new translation by B. Cohen and A. Whitman assisted by J. Budenz
- [2] **SZILY, K.:** *Mechanika*. Első kötet. Statika. Németh József technikai Könyvkiadó Vállalata, Budapest, 1921.
- [3] **CHOLNOKY, T.:** *Mechanika*. I. kötet. Statika. Harmadik, átdolgozott kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.
- [4] **HALMOS, P. R.:** *Finite-dimensional vector spaces*, Springer-Verlag, 1974.
- [5] **NEWTON, I.:** *A természetfilozófia matematikai alapjai*, fordította: Heinrich L. = In: *Newton. A Principiából és az Optikából. Levelek Richard Bentleyhez*. Szerk: Heinrich L. Kriterion könyvkiadó, Bukarest, 1981.
- [6] **BUDÓ, Á.:** *Mechanika*. 5. kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [7] **LÁMER, G.:** *Solid and Soft Body with and without Structure* = In: *Quasi-Static Deformations of Particular Materials*. Proceedings of QuaDMP'03 Workshop. 25-28 august 2003. Ed.: K. Bagi. P. Co. of BTU, Budapest, 2003. pp. 159-166.
- [8] **LÁMER, G.:** *Az anyagi viselkedés folytonos és diszkrét modellezésének kérdései* = In: *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2010. Konferencia* (Budapest, 2010. március hó 25.) Szerk.: Török Á. – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2010. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 8. kötet] pp. 123-146
- [9] **BALL, R. S.:** *A Treatise on the Theory of Screws*, Cambridge University Press, 1900.
- [10] **GALILEI, G.:** *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből*. Ford.: Dávid G. Európa könyvkiadó, Budapest, 1986.
- [11] **BUDÓ, Á.:** *Kísérleti fizika* II. kötet. 2. kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.
- [12] **MECHANICS OF SOLIDS. ED.: C. TRUESDELL. VOL. I.** Bell, J.F.: *The Experimental Foundations of Solid Mechanics*, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1984.
- [13] **MECHANICS OF SOLIDS. ED.: C. TRUESDELL. VOL. II.** *Linear Theories of Elasticity and Thermoelasticity. Linear and Nonlinear Theories of Rods, Plates, and Shells*, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1984.
- [14] **MECHANICS OF SOLIDS. ED.: C. TRUESDELL. VOL. III.** *Theory of Viscoelasticity, Plasticity, Elastic Waves, and Elastic Stability*, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1984.

KOMBINÁLT ANALÍZIS RENDSZER A PROPPANT KIVÁLASZTÁS OPTIMALIZÁLÁSÁRA

COMBINED ANALYSIS SYSTEM FOR PROPPANT SELECTION OPTIMIZATION

LENGYEL Tamás¹, JOBBIK Anita²

¹műszaki ügyintéző, lengyel@afki.hu

¹Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

² Ph.D. tudományos főmunkatárs, jobbik@afki.hu

MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

² Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A hidraulikus rétegrepesztés célja, hogy jelentős mértékben javuljon a kutak IPR tulajdonsága. A repesztés sikeressége jelentősen függ a kitámasztott repedések konduktivitásától, ami a látszólagos permeabilitás és a repedés vastagság szorzata. A „proppant pack” deformációja és a kőzetbe történő beágyazódása egyértelműen hatással van a repesztett kutak produktivitására. A precíz vizsgálat érdekében, egy analitikus modell került kiválasztásra, melynek előnye az empirikus összefüggésekkel szemben, hogy a megfelelő peremfeltételek mellett széles körben használható. Az analitikai modellre építve, a cikk egy új analízis rendszert mutat be, mellyel az adott tároló körülményekre a proppant kiválasztás optimalizálható.

Kulcsszavak: hidraulikus rétegrepesztés, proppant beágyazódás, repedés konduktivitás

Abstract: The pay-off of the hydraulic fracturing treatment is significantly affected by the productivity index (PI) of the well. In this paper, more models and considerations were integrated to develop a new analysis system by which different sensitivity tests (with deep consequences) and a kind of technical optimization of proppant selection can be executed. Ignoring any costs or revenue (CAPEX, OPEX, NPV, etc.) calculations, the outcome of this paper provides a method for proppant selection considering not only the factors that influence fracture conductivity but another optimization method, the so-called Unified Fracture Design (UFD) model as well

Keywords: hydraulic fracturing, proppant embedment, fracture conductivity

1. BEVEZETÉS

A hidraulikus rétegrepesztés célja, hogy stimulálva a kútkörnyéki zónát, a kút beáramlási tulajdonsága szignifikánsan megnövekedjen. Ehhez nagy konduktivitású kitámasztott repedésekre van szükség. A rétegrepesztési művelet sikeressége nagymértékben függ a kitámasztott repedések konduktivitásától, amely a “proppant pack” látszólagos permeabilitásának illetve a repedés szélességének szorzata. A repesztett kút produktivitására egyértelműen hatással van a proppant, azaz kitámasztó anyag, illetve a kőzet fala közötti kölcsönhatás. A proppant szemcsék beágyazódnak a formációba, illetve a magas záródási nyomások miatt deformálódnak, ami összességében jelentős csökkenést eredményezhet a konduktivitást tekintve. A proppant mérete, a proppant és a formáció Young modulusza és Poisson tényezője, illetve a záródási nyomás, olyan tényezők, melyek befolyásolják a proppant beágyazódás, illetve ezen keresztül a repedés szélesség csökkenés mértékét, melyek együttesen hatással vannak a repedés konduktivitásának csökkenésére, ami jelentősen redukálhatja a termelő kutak produktivitását. Ez a hatás gyengén konszolidált formációkban még jelentősebb lehet, ezért elengedhetetlen hogy megfelelően vizsgáljuk és megértsük a proppant beágyazódás elméleti hátterét.

A jelenség vizsgálatának egyik legszofisztikáltabb módja, a statikus erőegyensúlyi állapot analízise. Az analitikus analízis egyik legfőbb előnye az empirikus kísérletekkel szemben, hogy a peremfeltételeknek megfelelően, a gyakorlatban is előforduló, széles tartományban használható. Az empirikus modellek talán pontosabban szimulálják a valóságot, ugyanakkor ezek a modellek csak abban a szűk tartományban használhatók, amelyben származtatták azokat. Ezen kívül, az empirikus összefüggések gyakran tartalmaznak különböző illesztési együtthatókat, melyeket csak kísérleti úton lehet meghatározni (paraméteres egyenletek). A kísérleti út, főként magokon végzett méréseket jelent, melyekhez sokszor bonyolult mérési rendszerek és speciális berendezések szükségesek. Mindent egybevetve, az analitikus modellre épült analízis rendszer széles tartományban használható, nem beszélve arról az esetről, hogy ha kísérleti adatok elérhetők, akkor az analitikus egyenlet ezekhez szintűgy illeszthető.

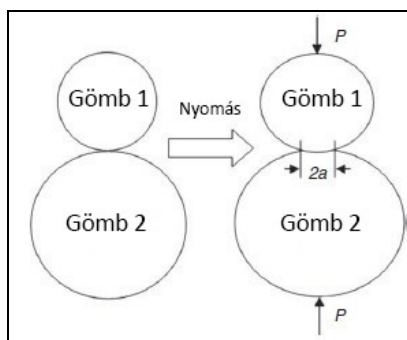
1.1. A kutatás célja

Az iparban a vállalatok, és legfőképp a projektmenedzserek, főként a projekt megtérülésében érdekeltek. A hidraulikus rétegrepszési művelet megtérülése jelentős mértékben függ a kút megnövelt produktivitásától. A kutatómunka során, több modell és megfontolás integrációjaként egy új analízis rendszer került kifejlesztésre, melynek segítségével különböző érzékenységi vizsgálatok végezhetőek el, illetve a proppant kiválasztásának egyfajta technikai optimalizációja is kivitelezhető.

A kutatás eredményeként egy új módszer érhető el a proppant kiválasztására, mely integrálja a proppant beágyazódás jelenségét vizsgáló modellt és a „Unified Fracture Design” (UFD, Economides és társai 2002) optimalizációs modellt. Gyakorlati szempontból, az analízis rendszer lehetővé teszi a megfelelő kitámasztó anyag (méret, elasztikus modulusz, fajsúly), illetve a proppant koncentráció szerinti mennyiség meghatározását, amely ahhoz szükséges, hogy az előzetesen meghatározott (nettó jelenérték számítások illetve rezervoár mérnöki megfontolások alapján) produktivitási indexet elérjük a repesztési művelet során. Ezen kívül, az analitikus modell által számított konduktivitás értékek összehasonlíthatók a proppant gyártó cégek adataival, egy alternatív lehetőséget kínálva ezáltal a konduktivitás értékek meghatározására.

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

A Li' és társai (2015) által kifejlesztett analitikus modell elméleti úton közelíti a proppant beágyazódás jelenségét. Fontos megjegyezni, hogy a modell származtatása kapcsán bevezetett feltételezések bizonyos korlátokat jelentenek. A feszültség-alakváltozás analízis során csak deformáció illetve beágyazódás feltételezett, azaz a modell nem számol a proppant tönkremenetelével. Ez azt jelenti, hogy az egyenletek csak olyan feszültségi tartományban használhatók, amely még nem okozza a kitámasztó anyag tönkremenetelét (*proppant crush*).



1. ábra: Elasztikus gömbök alakváltozása (Li 2015)

A modell származtatása a Wu és társai által publikált (2001), két érintkező gömb feszültség-alakváltozás egyenletével kezdődik, mely az 1. ábrán látható. Gömb 1 és 2 a terhelésnek megfelelően deformálódik. A gömbök érintkezési felülete egy kör, melynek sugara (α) a következő összefüggéssel számítható:

$$\alpha = \left(\frac{3}{4} P C_E \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

ahol α a kör sugara (mm); P a gömbökre ható külső erő (N); R_1 az 1-es gömb rádiusza (mm); R_2 a 2-es gömb rádiusza (mm). C_E (in MPa⁻¹) pedig a következőképp definiálható:

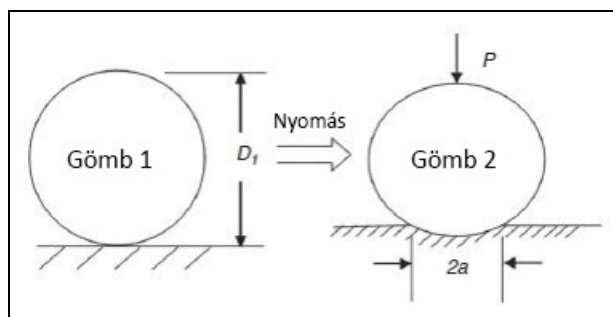
$$C_E = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}, \quad (2)$$

ahol ν_1 az 1-es gömb Poisson tényezője (dimenzió nélküli); ν_2 a 2-es gömb Poisson tényezője (dimenzió nélküli); E_1 az 1-es gömb Young modulusza (MPa); és E_2 a 2-es gömb Young modulusza (MPa).

Wu és társai (2001) bebizonyították, hogy a gömbök középpontjai között távolság változása a következő összefüggéssel írható le:

$$\alpha' = \frac{\frac{3}{4} P C_E}{\left(\frac{3}{4} P C_E \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{3}}}, \quad (3)$$

ahol α' a gömbök középpontjai között távolság változása (mm). Ha $R_2 \rightarrow \infty$, akkor a 2-es gömb felülete síklappá transzformálódik, így a két objektum egy gömb és egy síklap. A 2. ábra demonstrálja a gömb és a síklap közti kölcsönhatást. Megfigyelhető, hogy α' -re két tényező van hatással: az 1-es gömb sugarának változása, ami a *deformáció*, illetve a *beágyazódás*.



2. ábra: Gömb és felület közötti kölcsönhatás (Li 2015)

A 2. ábrán látható szituációra a következő módosított összefüggés vezethető le a 3. egyenlet alapján:

$$\alpha' = \frac{2 \left(\frac{3}{8} P C_E D_1 \right)^{\frac{2}{3}}}{D_1}, \quad (4)$$

ahol D_1 az 1-es gömb átmérője (mm). Ennél a pontnál a 4. egyenlet két tényezőt tartalmaz, egyrészt a gömb deformációját, másrészt a gömb "síklapba" való beágyazódását. Ahhoz, hogy megkapjuk az egyenletet, amely leírja a gömb deformációját, a 4. egyenlet másik befolyásoló tényezőjének (a beágyazódást) szeparációja szükséges. Ehhez feltételezzük azt, hogy a síklap elasztikus tényezője végtelen, tehát a gömb nem ágyazódik be a síklapba. Ebben az esetben α' csak a deformáció hatását tartalmazza. Így a gömb deformációja a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$\beta = \frac{2(\frac{3}{8}PD_1\frac{1-\nu_1^2}{E_1})^{\frac{2}{3}}}{D_1} \quad (5)$$

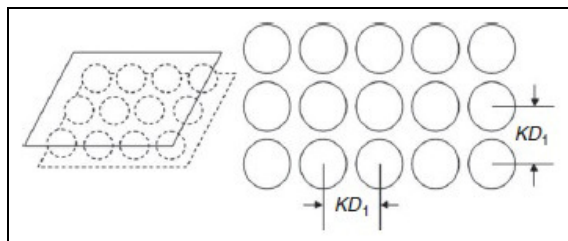
Az 5. egyenlet alapján megállapítható, hogy a deformációt csak a gömbre ható külső erő; a gömb átmérője, elasztikus és Poisson tényezője befolyásolja. Mivel α' a deformáció és beágyazódás összege, ezért kombinálva a 4. és 5. egyenletet, a gömb síklapba való beágyazódása a következő összefüggéssel számítható:

$$h = \alpha' - \beta = \frac{2(\frac{3}{8}PD_1)^{\frac{2}{3}}}{D_1} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right], \quad (6)$$

ahol h a beágyazódás mértéke (mm).

2.1. Valódi Szituáció

Ahhoz, hogy közelítsük a repedés valódi viselkedését, a proppant szemcsék két síklap közötti helyzetét kell megvizsgálni. A repedésben elhelyezkedő proppant szemcsék súlya elhanyagolható, így azt az analitikus modell (Li' és társai 2015) nem veszi figyelembe, így azt feltételezi, hogy a proppantokra eső feszültségek illetve az alsó és felső sík és gömbök érintkezési felülete ugyanaz. Ezen kívül egyenletes proppant eloszlás feltételezett.



3. ábra: Proppant elhelyezkedés két síklap között (Li 2015)

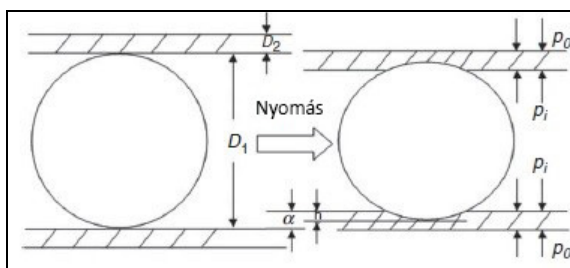
A 4. ábrán megfigyelhető egyetlen proppant stressz analízise. Ha összehasonlítjuk a 2. és 4. ábrát, megfigyelhető, hogy míg a 2. ábrán a terhelés mértékegysége N, addig a 4. ábrán a feszültség mértékegysége MPa. A feszültség, illetve az érintkező határfelületekre ható terhelés közötti összefüggés a következő:

$$P = p(KD_1)^2, \quad (7)$$

ahol P az érintkező határfelületekre ható terhelés (N), p a záródási nyomás (MPa), K a távolság koefficiens (dimenzió nélküli); és D_1 a proppant átmérője (mm). Ezen felül, a záródási nyomásra felírható a következő összefüggés:

$$p = p_0 - p_t, \quad (8)$$

ahol p_0 a formáció nyomás (MPa); és p_i a repesztő fluidum nyomása (MPa). Fontos megjegyezni, hogy ha $p_0 < p_i$, ami a repesztési művelet során fordul elő (a repesztő fluidum nyomása meghaladja a formáció in-situ feszültségét, így repedés keletkezik), nincs proppant deformáció és beágyazódás sem. Ha $p_0 > p_i$, ami a repesztési művelet után beállt nyomásviszonyokra jellemző (a nagy nyomású szivattyúk kikapcsolása után nincs további többletnyomás, ami fenntartaná a repedéseket, a repesztő fluidum tehát kiszűrődik, így a fluidum nyomása csökken), a proppantok deformálódnak illetve beágyazódnak. A továbbiakban levezetett egyenletek csak akkor értelmezhetők ha $p_0 > p_i$.



4. ábra: Egyetlen proppant stressz analízise (Li 2015)

A formáció vastagsága D_2 -vel jelölt. A záródási nyomás hatására a formáció deformálódik ami Hooke törvénye szerint a következőképp számítható:

$$\Delta D_2 = D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (9)$$

ahol D_2 a formáció vastagság (mm); és ΔD_2 a réteg deformációja (mm), ami gyakorlatilag a proppant beágyazódás mértékét mutatja. Behelyettesítve a 7. és 9. egyenletet a 4. egyenletbe a következő összefüggés áll fenn:

$$\alpha = 1.04 D_1 (K^2 p C_E)^{\frac{2}{3}} + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (10)$$

ahol α a repedés szélesség változását jelenti (mm). Fontos megjegyezni, hogy az α értéke valójában a repedés szélesség változás *felét* jelenti, de az egyszerűség kedvéért a következőkben szimplán repedés szélesség változásként hivatkozom rá. Folytatva a behelyettesítést (a 7. egyenletet az 5. egyenletbe, míg a 7. és 9. egyenletet a 6. egyenletbe) a következő összefüggéseket kapjuk:

$$\beta = 1.04 D_1 (K^2 p \frac{1-\nu_1^2}{E_1})^{\frac{2}{3}}, \quad (11)$$

$$h = 1.04 D_1 (K^2 p)^{\frac{2}{3}} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (12)$$

ahol β a proppant deformáció (mm); h a proppant beágyazódás (mm); E_1 a proppant elasztikus modulusza (MPa); és E_2 a formáció elasztikus modulusza (MPa).

2.2 Multilayer Pattern

Az eddigiekben a proppant deformáció és beágyazódás úgy nevezett “single-layer pattern”, azaz egyetlen proppant réteg esetében volt értelmezve. A gyakorlatban “single-layer pattern”

helyett “multilayer pattern”-eket alakítanak ki, ami annyit tesz, hogy több proppant réteg helyezkedik el egymáson. Így tehát elengedhetetlen, hogy ne csak a formáció és a kitámasztó anyag közötti, de a proppantok között fellépő kölcsönhatásokat is vizsgáljuk.

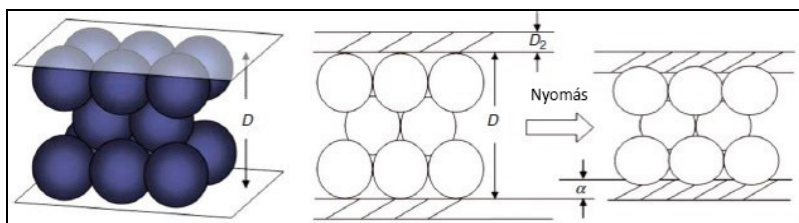
A cikk terjedelmi korlátai miatt, a további levezetések nem részletezettek. A proppantok közötti kölcsönhatások (deformáció és beágyazódás) vizsgálatánál, egységes proppant tulajdonságok feltételezettek, azaz a proppant szemcsék mérete, illetve elasztikus tulajdonságuk megegyezik. Ezek alapján a következő egyenletek állapíthatók meg “multilayer pattern” esetében:

$$\alpha = 1.04D(K^2p)^{\frac{2}{3}} \left\{ \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{D_1}{D} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \right\} + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (13)$$

$$\beta = 1.04D(K^2p)^{\frac{1-\nu_1^2}{E_1}}^{\frac{2}{3}}, \quad (14)$$

$$h = 1.04D_1(K^2p)^{\frac{2}{3}} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (15)$$

ahol D a kezdeti repedés szélesség (mm), ahogy azt az 5. ábra mutatja, α a repedés szélesség változása “multilayer pattern” esetében (mm); β a “multilayer pattern” deformációja (mm); és h a proppant beágyazódás mértéke (mm) “multilayer pattern” esetén, ami megegyezik a “single-layer pattern” esettel, hisz csak az alsó és felső proppant réteg érintkezik a formációval.



5. ábra: „Multilayer pattern” a repedésben (Li 2015)

3. REPEDÉS KONDUKTIVITÁS

3.1. Származtatás

A repedés konduktivitás a repedés áteresztőképességének és szélességének szorzata. A kitámasztott repedés permeabilitása arányos a “proppant pack” porozitásával, a pórus torok sugarával és az ún. pórus tekervényességgel (tortuosity). Ezeket a paramétereket az előzőekben vizsgált beágyazódás, deformáció, illetve ezek összege a repedés szélesség változása befolyásolja.

Yang és Wei (2004) levezettek egy általánosan elfogadott egyenletet a permeabilitás meghatározására, mely a következőképp alakul:

$$k = \frac{\Phi r^2}{8\tau^2}, \quad (16)$$

ahol k a permeabilitás (μm^2 , ami 1 Darcy); Φ a porozitás (dimenzió nélküli); r a pórus torok sugara (μm); és τ a pórus tekervényessége (dimenzió nélküli). A 7. ábrán prezentált “proppant

pack” esetében a porozitás, a pórus torok sugár és a pórus tekervényesség matematikai úton könnyedén meghatározható zero záródási nyomás esetén. Az egyenletek a következők:

$$\phi_0 = \frac{4\sqrt{2}R_1^3 - \frac{4}{3}\pi R_1^3}{4\sqrt{2}R_1^3} = 0,25951 \quad , \quad (17)$$

$$r_0 = 1000 \frac{2\sqrt{3}-3}{3} R_1 \quad , \quad (18)$$

$$\tau_0 = \frac{\sqrt{\left(\frac{2}{3}R_1\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{3}R_1\right)^2}}{\frac{2}{3}R_1} = \frac{\sqrt{6}}{2} \quad , \quad (19)$$

ahol a nullával indexelt tagok zero záródási nyomásra érvényesek. Ha a záródási nyomás nagyobb, mint nulla, az egyes egyenletek a következőképp alakulnak (Li' és társai 2015):

$$\phi = \frac{D\phi_0 - 2\beta}{D - 2\beta} \quad , \quad (20)$$

$$r = \left(\frac{D-2\beta}{D}\right) r_0 \quad , \quad (21)$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{D-2\beta}{D}\right)^2 (\tau_0^2 - 1) + 1} \quad , \quad (22)$$

A repedés konduktivitás definíciója alapján, kombinálva a 16., 20., 21. és 22. egyenleteket a következő egyenlet áll elő:

$$F_{CD} = kw = \frac{(D\phi_0 - 2\beta)(D - 2\beta)r_0^2}{80 \left[\left(\frac{D-2\beta}{D}\right)^2 (\tau_0^2 - 1) + 1 \right] D^2} (D - 2\alpha) \quad , \quad (23)$$

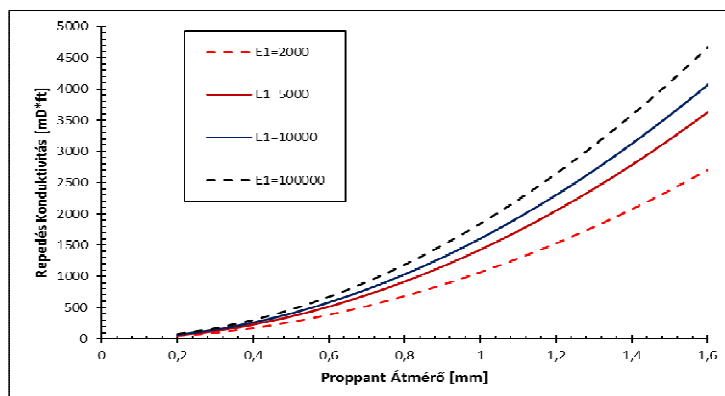
ahol F_{CD} a repedés konduktivitás ($\mu\text{m} \cdot \text{cm}$); w a repedés szélesség nem-zero záródási nyomás esetén (cm); és α a repedés szélesség változás fele a 13. egyenlet alapján (mm).

4. EREDMÉNYEK

A következőkben a legfontosabb érzékenységi vizsgálatok eredményei lesznek bemutatva, elemezve ezeket fontos következtetések állapíthatók meg.

4.1. A proppant méret és a záródási nyomás

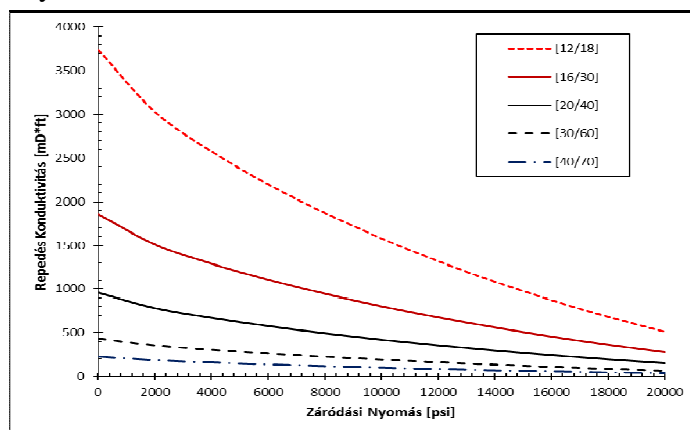
A következő érzékenységi vizsgálatok paraméterei az alábbiakban meghatározottak: $v_1=v_2=0.2$, $E_2= 2000$ MPa, $D= 5\text{mm}$, $D_2=20$ mm, $p=20$ MPa, míg E_1 2000 és 100000 MPa között, és a proppant átmérő 0,3 és 1,6 mm között változik.



6. ábra: Repedés konduktivitás a proppant átmérő és Young m. függvényében

A 6. ábrán szemléltetett eredmények a várakozásoknak megfelelőek. Minnél nagyobb és keményebb a proppant, annál nagyobb repedés konduktivitás értékek érhetők el.

A 7. ábra, a másik legfontosabb paraméter, a záródási nyomások függvényében ábrázolja a repedés konduktivitás értékeit. Megfigyelhető, hogy minnél nagyobbak ezek a nyomások (minnél mélyebben van a tároló), annál kisebb repedés konduktivitás értékek érhetők el ugyanazokra a körülményekre.

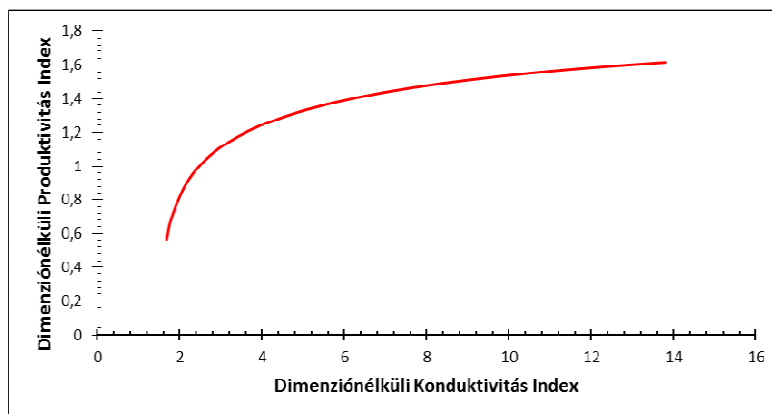


7. ábra: Repedés konduktivitás a záródási nyomás függvényében

4.2. A proppant kiválasztás optimalizációja

Az analitikus és az UFD (Economides és társai 2002) modell, továbbá más matematikai megfontolások kombinációjaként a proppant kiválasztás optimalizálható. Az eljárás lényege, hogy az előre meghatározott (NPV számítások és rezervoármérnöki megfontolások) produktívítási indexekhez (PI) az UFD modell alapján számítható egy-egy konduktivitás érték, mely ahhoz szükséges, hogy elérjük az előre definiált PI-t. Az így kapott konduktivitás értéket összehasonlítva az analitikus modellel számított értékkel megállapítható, hogy az analitikus modellbe input paraméterként megadott proppant megfelelő vagy sem. Ha nem, az eljárást meg kell ismételni egy másik proppant típusra.

A 8. ábra leegyszerűsítve mutatja be az UFD modell működését. Megfigyelhető, hogy minden dimenzió nélküli PI-hez tartozik egy dimenzió nélküli F_{CD} .



8. ábra: Dimenzió nélküli PI a dimenzió nélküli konduktivitás függvényében

5. KONKLÚZIÓ

A cikkben bemutatott analitikus modell képes a proppant beágyazódás, deformáció, illetve ezek összegének, a repedés szélesség változás meghatározására. Végző eredményként pedig a repedés konduktivitás is számítható. A modell csak matematikai és fizikai megfontolásokon alapszik, így a peremfeltételeknek megfelelően széles tartományban használható.

Az analitikus modell segítségével számos érzékenységi teszt is elvégezhető. A cikkben bemutatott eredmények elsősorban a záródási nyomás, a proppant átmérő, illetve a proppant elasztikus modulusának, a konduktivitásra kifejtett hatását mutatták be.

Kombinálva az analitikus modellt az UFD modellel, a kút produktivitását tekintve a proppant kiválasztás optimalizálható.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ECONOMIDES, M.J., OLIGNEY, R.E., AND VALKO, P.P.:** *Unified Fracture Design*. Orsa Press, Houston. USA. 2002a
- [2] **LENGYEL, T.:** *Investigation of Parameters Influencing Fracture Conductivity Including Proppant Pack Properties and Rock Mechanical Characteristics*. Scientific Students' Associations Conference, Faculty of Earth Science and Engineering, University of Miskolc, Miskolc. 2016
- [3] **LI, K., GAO, Y., LYU, Y., WANG M.:** New Mathematical Models for Calculating Proppant Embedment and Fracture Conductivity. SPE-155954-PA. 2015
- [4] **WU, J.K., WANG, M.Z., AND WANG, W.:** *Elastic Mechanics Introduction*. Recension of First edition, Beijing: Peking University Press. Chinese. 200-203. 2001
- [5] **YANG, S.L. AND WEI, J.Z.:** *Reservoir Physics*. First edition, Beijing: Petroleum Industry Press. Chinese. 136-159. 2004

TERMIKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT NI- ALAPÚ RÉTEGEK ÚJRAOLVASZTÁSA LÁNGGAL ÉS A BEVONAT VIZSGÁLATA

FLAME REMELTING METHOD AND TESTING OF THERMAL SPRAYED NI- BASE COATINGS

MOLNÁR András¹, CSABAY Zsolt² FAZEKAS Lajos³ PÁLINKÁS Sándor⁴
GINDERT – KELE Ágnes⁵

¹Kutatásvezető Csabay Pharma AG Zurich (a.molnar2007@gmail.com),

²Igazgató, Csabay Pharma AG Zurich (dr.csabay@gmr.t-online.hu)

³Főiskolai tanár Debreceni Egyetem (fazekas@eng.unideb.hu)

⁴Egyetemi adjunktus Debreceni Egyetem, (palinkassandor@eng.unideb.hu)

⁵Egyetemi docens Debreceni Egyetem (battane@eng.unideb.hu)

Kivonat: A tanulmányban összefoglalásra került a Ck 45 minőségű acél alaptestre, nagysebességű termikus szórással felvitt rétegek újraolvasztásánál szerzett vizsgálatok tapasztalatai. A termikus szórással kis- és nagysebességű termikus szórással történt, majd a rétegek újraolvasztását – a hagyományosan alkalmazott - lánggal, ellenállás hevítéssel, kemencében és lézersugaras újraolvasztással végeztük el. Az elkészített próbatestek NiCrBSi bevonatát metallográfiai úton vizsgáltuk. Az előkészített próbatestek mikro-szerkezetvizsgálatához Zeiss MA 10 scanning elektronmikroszkópot és hagyományos fénymikroszkópot alkalmaztunk. Az eredmények azt mutatták, hogy a szórt és újraolvasztott réteg porozitása minimálisra csökkent és a rétegben jelentős mennyiségű $\text{Cr}_2\text{Ni}_3\text{B}_6$ keményfázis alakult ki.

Kulcsszavak: NiCrBSi bevonatok, HVOF termikus szórással, kissebességű lánggal végzett termikus szórással (FS), bevonatok, újraolvasztás, hőkezelés, Ck45, mikro-szerkezeti, mikro-keménység.

Abstract: The paper summarizes the results of experiments focused on the re-melting of HVOF sprayed NiCrBSi coatings on Ck 45 steel substrate. The paper presents the results of metallographical properties evaluation made on samples of NiCrBSi alloy based coatings. Samples were deposited using thermal spraying technology (HVOF and FS) and remelted by standard methods (flame remelting, remelting by resistance, remelting in furnace and laser remelting). The microstructure of these samples was evaluated by scanning electron microscopy and optical microscopy. The results show the highest microhardness values observed in one of the sample was due to lower amount of porosity and higher amount of very fine $\text{Cr}_2\text{Ni}_3\text{B}_6$ particles precipitated homogeneously throughout its microstructure during specific heat treatment.

Keywords: NiCrBSi coatings, HVOF spraying, Flame spraying, Coating, Heat treatment, Ck45, Microstructure, Microhardness,

1. BEVEZETÉS

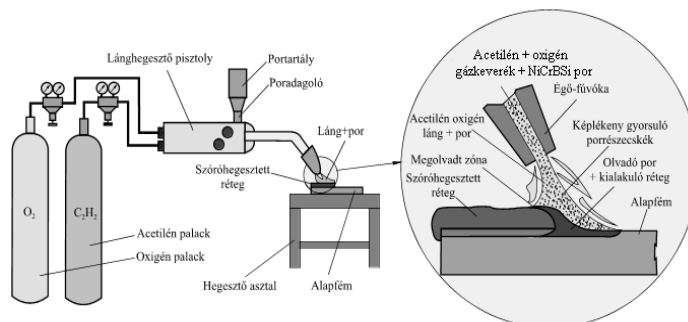
A Ni-alapú bevonatokat főleg növelt hőmérsékleten ható korrózióknak és koptató hatásnak kitett felületi rétegek kialakításánál használják [1].

A Ni-alapú ötvözetek B és Si tartalma megkönnyíti a szórási és olvasztási folyamatot. A Si és B jelenléte növeli a Ni-alapú ötvözet híg folyósságát és olvadási, illetve, kristályosodási hő-közét. A B jelenléte (kb. 3,6 t. %) elősegíti a kemény fázis kialakulását [2].

A Si tartalom növelése a szórt réteg híg folyósságának javítása érdekében nem vezetett eredményre. A Cr-nak fontos szerepe van a NiCrBSi ötvözetek alkalmazásánál, mivel növeli a felvitt szórt és megolvasztott réteg keménységét és javítja annak mechanikai tulajdonságait – továbbá növeli a kopásállóságot [3].

Különböző NiCrBSi ötvözeteket fejlesztettek ki bevonatok készítéséhez, azért hogy a mechanikai tulajdonságokat javítsák, és annak érdekében, hogy a bevonat koptató hatással szembeni viselkedését kellő pontossággal előre meg tudják határozni [4-5]. A bevonatban lévő

folytonossági hiányok (porozitás, nem megolvadt részecskék, oxidzárványok) miatt a szórt réteg nem tökéletes. [6-8]. A hibátlan, tömör réteg kialakítása érdekében alkalmazott lézersugaras megolvasztás elősegíti a porozitás teljes elkerülését, így a bevonat teljesen tömör lesz [9-10]. A réteg szerkezetének finomodása miatt a bevonat mechanikai tulajdonságai jobbak lesznek és a kopásállósága is jelentős mértékben javul [11-12]. A lézersugaras utókezelés – mely koncentrált hő-bevitellel jár együtt – a megszilárduló fémes bevonatban repedéseket okozhat, mely a próbatest, vagy a munkadarab előmelegítésével és szabályozott visszahűtésével elkerülhető [13-14].



1. ábra Szóró-hegesztés elvi vázlata

A NiCrBSi ötvözetek kifejlesztése a Wall Colmonoy Co. amerikai céghez kötődik [16]. A lánggal végzett szóró hegesztés első szabadalma B. Rónay-tól származik – aki már 1942-ben számos kísérletet végzett ezzel a módszerrel [15]. Az 1. ábrán a lánggal végzett szóróhegesztés elvét vázoltuk. A megfelelő adagoló és keverőszáron keresztül a semleges lángba adagolva a NiCrBSi port és a felületre továbbítva ott megtapad és megolvasztva egy felületi réteg alakul ki – amely egy kopásálló bevonatot képez a munkadarab előkészített felületén.

A NiCrBSi ötvözetek kifejlesztése a Wall Colmonoy Co. amerikai céghez kötődik [16]. A lánggal végzett szóró hegesztés első szabadalma B. Rónay-tól származik – aki már 1942-ben számos kísérletet végzett ezzel a módszerrel [15]. Az 1. ábrán a lánggal végzett szóróhegesztés elvét vázoltuk. A megfelelő adagoló és keverőszáron keresztül a semleges lángba adagolva a NiCrBSi port és a felületre továbbítva ott megtapad és megolvasztva egy felületi réteg alakul ki – amely egy kopásálló bevonatot képez a munkadarab előkészített felületén.

A termikus szórással felvitt réteg minősége egyértelműen javítható a lézersugaras újraolvasztással [17]. Ugyanakkor számos lehetőséget látunk arra, hogy a szórt réteg kötésének metallurgiai jellegűvé alakítása mellett a további minőség javulás érhető el az újraolvasztás és a lehűlés közbeni befolyásolással.

2. SAJÁT KÍSÉRLETEK

2. 1. Felhasznált kiinduló anyagok

Az alapfém Ck 45 minőségű, 80 X 50 X 10 mm méretű acél próbatestek voltak (1. táblázat).

1. táblázat A próbatestek készítéséhez felhasznált acél alaptestek jellemzői

Acél	Összetétel tömegszázalékban			Keménység [HV1]	
	C	Mn	Si	Normalizált	Nem hőkezelt
Ck 45*	0,45	0,60	0,30	200...235	480...515

* MSZEN10083/2-91-A1-2000 szerint C 45

A kísérleti darabok elkészítéséhez két NiCrBSi porötvözet került felhasználásra (2. táblázat).

2. táblázat A felhasznált NiCrBSi porok összetétele és jellemzői [18]

N 40-1 *	Összetétel [%]					
	Ni	Cr	Si	B	C	Fe
	Alap	7,50	3,60	1,65	0,25	1,30
Részecske-méret	-71 +29 [µm]					
Oladási hőköz	1030 – 1060 [°C]					
Rétegekeménység	395 - 405 [HV _{50N}]					
N 60-1 *	Összetétel [%]					
	Ni	Cr	Si	B	C	Fe
	Alap	15,0	4,30	3,10	0,75	3,50
Részecske méret:	-106 +20 [µm]					
Oladási hőköz	970 – 1000 [°C]					
Rétegekeménység	62 [HRC]					

*Powders of MOGUL METALLIZING GmbH., Sollingen, Deutschland, Trader: Interweld GmbH., Austria

A hengerelt téglalap szelvényű melegen hengerelt próbatesteket korund szemcsés szórásal előkészítettük, majd 250 °C-ra előmelegítettük és kétféle NiCrBSi ötvözet alkalmazásával egy lépcsős eljárást alkalmaztunk – amikor a réteget termikus szórással (FS) hoztuk létre és lánggal megolvasztottuk. A felület előkészítéshez célszerű 0,8-1 mm szemcseméretű elektrokorundot választani (fehér színű) – így biztosítható az optimális felületi érdesség ($R_a = 2-8 \mu m$) – amely a felszört por tapadását elősegíti – majd megolvasztását is megkönnyíti.

Az elkészült próbatesteket duzzasztott perlit porba helyezve 24 óra alatt hűltek le kb 30 [°C] hőmérsékletre.

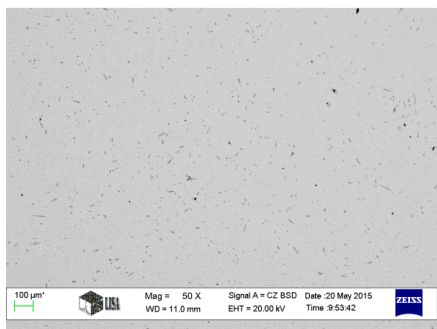
2. 2. A megolvasztott NiCrBSi bevonatok mikroszerkezete

2. 3. SEM - EDXMA elemzés

A SEM - EDXMA elemzést ZEISS MA 10 típusú SEM elektronmikroszkóppal végeztük a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló (LISA) Laboratóriumában.

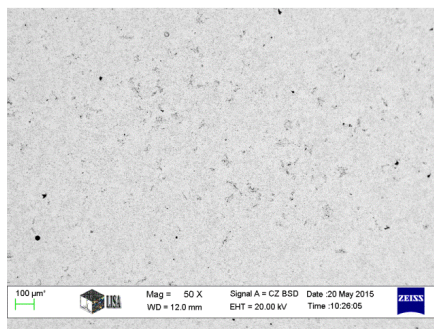
Az N 40 – 1 és az N 60-1 márkajelzésű NiCrBSi porokkal felszört és lánggal olvasztott mintákat SEM elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. A 3. és 4. ábrán a két különböző keménységű réteg szövetszerkezete látható. A MOGUL N 40-1 porral készített mintában a keményszorítás mennyisége kevesebb – mint a MOGUL N 60-1-el szört. Az EDXMA elemzés FS-szört és lánggal olvasztott mintákban eltérő a vegyi összetétel. A 5. és 6. ábrán a lánggal újraolvasztott rétegek kémiai összetételének alakulását mutatjuk be a réteg teljes metszetében. Az EDXMA elemzésnél szembejövő a rétegek magas Cr tartalma, amely a kemény fázisok jelenlétére utal.

A réteg vastagsága 1,5 mm. Megfigyelhető, hogy a réteg szinte teljesen porozitás-mentes. A 7. és a 8. ábra lánggal szört olvasztott NiCrBSi bevonatok szerkezetét mutatja be. A világos rész egy dendrites szerkezetű Ni szilárd oldat; a sötétebb egyenletesen eloszló, nagy Cr-tartalmú eutektikus keményszorítás.



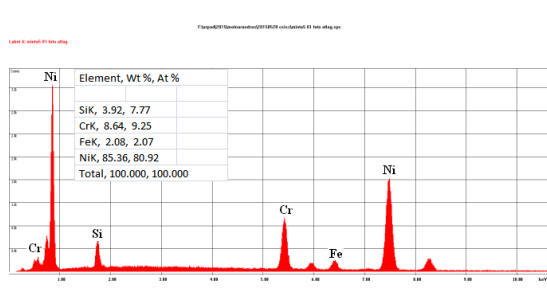
3. ábra

LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 50x) (Por: MOGUL N 40-1, maratószer 4 %-os HNO₃)



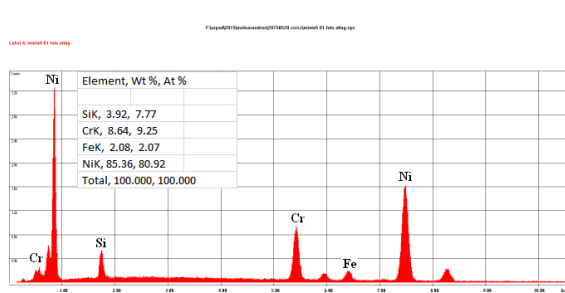
4. ábra

LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 50x) (Por: MOGUL N 60-1, maratószer 4 %-os HNO₃)



5. ábra

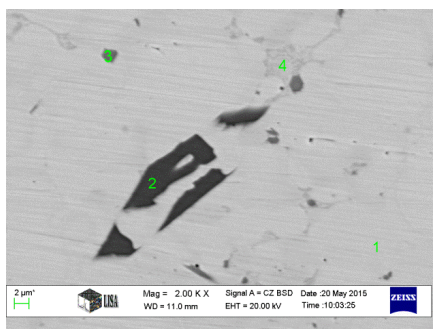
LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 50x) (Por: MOGUL N 40-1) átlagos összetétele



6. ábra

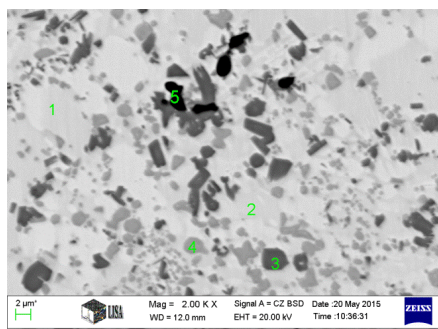
LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 50x) (Por: MOGUL N 60-1) átlagos összetétele

Az EDS elemzésnél szembejövő a rétegek magas Cr tartalma, amely a kemény fázisok - krómkarbidok és boridok (főleg Cr₇C₃ és CrB) – jelenlétére utal.



7. ábra

LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 200x) (Por: MOGUL N 40-1, maratószer 4 %-os HNO₃)



8. ábra

LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 200x) (Por: MOGUL N 60-1, maratószer 4 %-os HNO₃)

Ez a vizsgálat megerősíti a [16-17] irodalmi hivatkozásban közölt eredményeket – amelyek szerint a Ni- mátrixban elhelyezkedő keményfázis szigetek összetétele különféle komplex karbidok és boridok. Ezt az XRD (X-ray Diffraction) vizsgálatokkal szeretnénk igazolni.

A réteg újraolvasztásánál jelentős szerepe van a hőbevitelnek – amelyet az oxigén-acetilén égő helyes megválasztásával és a láng pontos beszabályozásával tudunk elérni.

3. táblázat LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (Por: MOGUL N 40-1) összetétele a 7. ábra szerint megjelölt helyeken

Vizsgált elem	Átlag		1-es pont		2-es pont		3-as pont		4-es pont	
	Wt %,	At %	Wt %,	At %	Wt %,	At %	Wt %,	At %	Wt %,	At %
C K					9,30	30,75	5,62	20,90	1,55	6,51
SiK	3,92	7,77	0,16	0,34	0,32	0,45	0,43	0,68	8,56	15,43
CrK	8,64	9,25	5,15	5,76	87,35	66,74	70,27	60,34	4,31	4,20
FeK	2,08	2,07	1,43	1,49	0,37	0,26	1,71	1,37	1,52	1,37
NiK	93,26	92,41	93,26	92,41	2,67	1,81	21,97	16,71	84,06	72,48
Összes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Wt % = tömeg %, At % = térfogat %

4. táblázat LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (Por: MOGUL N 40-1) összetétele a 8. ábra szerint megjelölt helyeken

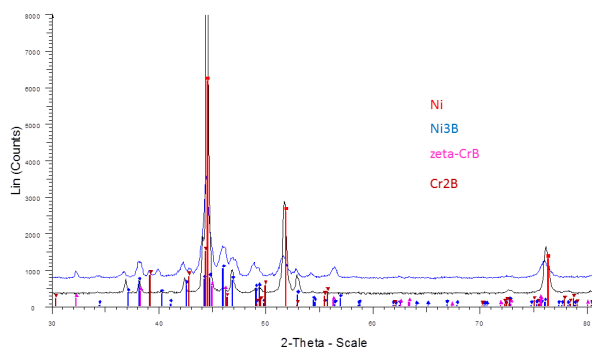
Vizsgált elem	Átlag		1-es pont		2-es pont		3-as pont		4-es pont		5-ös pont	
	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %
BK							0,53	0,15				
C K							1,23	3,92	5,68	20,94	4,65	14,31
AlK											112,34	116,89
SiK	5,00	9,68	6,43	12,44	13,21	24,03	0,19	0,26	0,36	0,57	19,41	25,52
PK											0,69	0,83
CaK											0,82	0,76
TiK											0,90	0,69
CrK	17,98	18,79	5,62	5,87	3,03	2,97	83,53	61,38	76,30	65,02	29,78	21,15
FeK	4,25	4,14	5,24	5,10	1,84	1,69	1,58	1,08	3,79	3,01	2,23	1,48
NiK	72,77	67,38	82,71	76,58	81,93	71,31	4,92	3,20	13,87	10,47	29,19	18,37
Összes	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Wt % = tömeg %, At % = térfogat %)

Amennyiben túl kicsi a hőbevitel akkor a réteg nem, vagy részlegesen olvad meg és nem alakul ki megfelelő kötés az alapfémmel. A túl nagy hő-bevitel a réteg alapfémmel való felhígulását eredményezi – amely az alkatrész használhatóságát korlátozza (pl. nem érjük el a kívánt kopásállóságot). A 7-8. ábrán 200x-os nagyításban látható ez a réteg, amelyben a különféle komplex karbidok és boridok sötét színűek.

2. 4. XRD vizsgálat

A fázisazonosítást detektor oldali monokromátorral ellátott Philips PW 1830 típusú röntgen-diffraktométerrel végeztük. A vizsgálati paraméterek az alábbiak voltak: 40 kV csőfeszültség, 30 mA csőáram; CuK α röntgensugárzás; 0,05° lépésköz ($\Delta 2\Theta$); 10 s gyűjtési idő.



9. ábra XRD vizsgálat eredményei

A 9. ábrán látható röntgendiffrakciós fázisazonosítás kimutatta, hogy a 3. ábrán látható (N 40-1 jelű NiCrBSi por felhasználásával készült) bevonaton csak a Ni és Ni₃B (fázisok vannak jelen. A Ni fázis reflexiói el vannak tolódva, aminek oka a fázis oldott ötvöző tartalma. Az 4. ábrán látható (N 60-1 jelű NiCrBSi por felhasználásával készült) bevonaton a Ni és Ni₃B fázisok mellett megjelenik a króm-borid két módosulata, a zeta-CrB és Cr₂B is.

Az XRD elemzés feltárja a jelentős mennyiségű lehetséges fázisok összetételét a megolvasztott NiCrBSi bevonatban. A bevonatban lévő: Ni, Cr, Fe elemek periódusos rendszerben is látható közelsége nehezíti a szövetszerkezet pontos összetételének meghatározását. Végül is az EDS és XRD vizsgálatok azt mutatják, hogy a megolvasztott Ni-alapú bevonatokban a Ni-mátrixban (Cr, Fe)₇C₃, CrB, és Ni₃B(Cr, Fe)₇C₃, CrB, és Ni₃B összetételű keményfázisok figyelhetők meg.

KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a munkában két különböző eljárással termikusan szórt és lézersugárral újraolvasztott NiCrBSi (MOGUL N 40-1 és MOGUL N 60-1) LV lánggal szórt és megolvasztott bevonat került összehasonlításra.

- Mindkét lánggal megolvasztott bevonatban egy finom, egyenletes eloszlású kemény fázis jelenléte figyelhető meg.
- Mindkét vizsgált bevonatra jellemző a dendrites szerkezetű, Ni szilárd oldatú mátrix.
- A vizsgálatok azt mutatják, hogy a lánggal történt megolvasztás elősegíti a dendrites mikroszerkezet kialakulását és jelentős mértékben csökken a bevonat porozitása.
- A bevonat lánggal történő megolvasztása lehetővé teszi a tömörebb, és finomabb szerkezetű és repedésmentes bevonatok kialakítását.
- A termikusan szórt és megolvasztott rétegek minőségének javítása érdekében az elvégzett vizsgálatok nem végelegesek.
- A réteg lánggal végzett megolvasztásának számos előnye mellett a hőbevitel minél alacsonyabb szinten tartása – továbbá a munkadarab lassú lehűtése nagyon fontos.
- A megolvasztott bevonatban a különféle keményfázisok figyelhetők meg, melyek Ni-mátrixban (Cr, Fe)₇C₃, CrB, és Ni₃B(Cr, Fe)₇C₃, CrB, és Ni₃B összetételűek.

IRODALOM

- [1] **GÓMEZ-DEL RÍO T., GARRIDO M. A., FERNÁNDEZ J. E., CADENAS M., RODRÍGUEZ J.** 2008. Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and microstructure of NiCrBSi coatings. *Journal of materials processing technology* 204 304–312
- [2] **CORDIA, M., DELOGU, P., NENCI, F.,** 1987. Microstructural aspects of wear-resistant stellite and colmonoy coatings by laser processing. *Wear* 119 (2), 137–152.
- [3] **ZHANG, D.W., LEI, T.C., ZHANG, J.G., OUYANG, J.H.,** 1999. The effects of heat treatment on microstructure and erosion properties of laser surface-clad Ni-base alloy. *Surf. Coat. Technol* 115, 176–183.
- [4] **LI, Q., ZHANG, D., LEI, T., CHEN, C., CHEN, W.,** 2001. Comparison of laser-clad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures. *Surf. Coat. Technol.* 137, 122–135.
- [5] **KIM, H.J., HWANG, S.Y., LEE, C.H., JUVANON, P.,** 2003. Assessment of wear performance of flame sprayed and fused Ni-based coatings. *Surf. Coat. Technol.* 172, 262–269.
- [6] **XIN, H., HU, C., BAKER, T.N.,** 2000. Microstructural assessment of laser nitrided

- Ti–6Al–4V alloy. *J. Mater. Sci.* 35 (13), 3373–3382.
- [7] **QIAN MING, L.C. LIM, Z.D. CHEN**, Laser cladding of nickel-based hardfacing alloys, *Surf. Coat. Technol.* 106 (1998) 174–182.
- [8] **A. CONDE, F. ZUBIRI, J. DAMBORENEA**, Cladding of Ni–Cr–B–Si coatings with a high power diode laser, *Mater. Sci. Eng. A* 334 (1–2) (2002) 233–238.
- [9] **J. RODRIGUEZ, A. MARTÍN, R. FERNÁNDEZ, J.E. FERNÁNDEZ**, An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings, *Wear* 255 (2003) 950–955.
- [10] **MIGUEL, J.M., GULEMANY, J.M., VIZCAINO, S.**, 2003. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes. *Tribol. Int.* 36, 181–187.
- [11] **P. WU, X.L. CHEN, E.Y. JIANG**, Influence of WC particle behavior on the wear resistance properties of Ni–WC composite coatings, *Wear* 257 (1–2) (2004) 142–147.
- [12] **Q. LI, D. ZHANG, T. LEI, C. CHEN, W. CHEN**, Comparison of laserclad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures, *Surf. Coat. Technol.* 137 (2001) 122–135.
- [13] **SERRES N. HLAWKA F., S. COSTIL LANGLADE C. MACHI F.** Microstructures and environmental assessment of metallic NiCrBSi coatings manufactured via hybrid plasma spray process. *Surface and Coatings Technology* 205 (3010) 1039 – 1046.
- [14] **OTSUBO, F., ERA, H., KISHITAKE, K.**, 2000. Structure and phases in nickel-base self-fluxing alloy coating containing high chromium and boron. *J. Therm. Spray Technol.* 9, 107–113.
- [15] **METHOD OF METAL-CLADING** *US 2,361,962 US Patent Bela Ronay*, 1942, Nov 7, 1944,
- [16] **FUSION OR BRAZING OF METALS** *US 2095807 A US Patent Oct. 12. 1937.*
- [17] **NAVAS, C., COLAC, O, R., DE DAMBORENEA, J., VILAR, R.**, 2006. Abrasive wear behaviour of laserclad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings. *Surf. Coat. Technol.* 200, 6854–6862.

GAZDASÁGI ISMERETEK A MŰSZAKI FELSOÓKTATÁSBAN

ECONOMIC KNOWLEDGE IN TECHNOLOGICAL HIGHER EDUCATION

MUSINSZKI Zoltán

egyetemi docens
Miskolci Egyetem
musinszki.zoltan@uni-miskolc.hu

Kivonat: Kinek, mikor, mit és hogyan kellene oktatni? Milyen képességek és kompetenciák fontosak? Ez a kérdéssorozat egyidős az oktatással. A kérdésekre adott válaszok nemcsak térben és időben térnek el egymástól. Ahány ember, ahány érdekcsoport, annyi válasz. Az európai felsőoktatás képesítési keretrendszerét 2006-ban fogadták el a felsőoktatásért felelős miniszterek. A képzési és kimeneti követelmények átdolgozására a Magyar Rektori Konferencia közreműködésével került sor, melyek 2016. augusztusában jelentek meg. Tanulmányomban arra a kérdésre keresem a választ, hogy a képzési és kimeneti követelmények alapján hol és milyen szerepet kapnak a műszaki felsőoktatásban a gazdasági ismeretek.

Kulcsszavak: műszaki felsőoktatás, gazdasági ismeret, képzési keretrendszer, kompetencia, tudás

Abstract: What, when, whom and how to teach? What abilities and competences are important? This sequence of questions is the same old as education. Replies to these questions differ from each other not only in place and time. There are as many people, as interest groups, as answers. The framework for qualifications of the European Higher Education was accepted in 2006 by the Ministers of State for Higher Education. Working out the educational and outcome requirements have been completed by the Hungarian Rector' Conference and they were published in August in 2016. In my study I observe the place and role of economic knowledge in technological higher education by the educational and outcome requirements.

Keywords: technological higher education, economic knowledge, framework for qualifications of the European Higher Education, competence, knowledge

1. GAZDASÁGI ISMERETEK A MŰSZAKI FELSOÓKTATÁSBAN – TÖRTÉNETI KIEMELÉSEK

A bécsi udvari kamara – a világon elsőként – 1735-ben Bányászati Tanintézetet hozott létre az alsó-magyarországi bányagazgatás központjában, Selmechányán (ma Szlovákia, Banská Štiavnica). A bányászattal és kohászattal is összefüggő természettudományok rohamos fejlődésének köszönhetően Mária Terézia 1762-ben akadémiai intézménnyé szervezte az iskolát. A Selmeci Akadémián a gazdaságtudományi ismeretek oktatása a számvitel (Verrechnungskunde) révén már 1794-ben elkezdődött. Faller Gusztáv emlékkönyve alapján: „Hogy azonban bányászok és kohászokon kívül még ügyes bányaszámvevők is képeztesse a bánya-számvevő hivatal számára: Ő királyi felsége 1794-ik évi július 4-ikéről kelt legmagasabb elhatározása folytán elrendeltetett a számviteli tudományoknak tanítása. Ezen tudományok számára, melyeknek első tanítója Reuth Ferencz Frigyes selmeczi kir. könyvvivő volt, a 3-ik évfolyamban hetenként 3 délutáni óra tűzött ki.”

Az 1867-es osztrák-magyar kiegyezéssel a magyarországi bánya- és kohóipar és vele együtt a bányász-kohász felsőoktatás a magyar állam irányítása alá került. A képzés nyelve a német helyett a magyar lett, a közgazdaságtan fejlődésével pedig megjelent a modern közgazdasági szakirodalom is az akadémia falai között. Az egykor beszerzett szakirodalmi művek tanúsága szerint a bányászati és kohászati üzemek leendő vezetőinek képzésében

fontos szerepet kaptak többek között Adam Smith, David Ricardo és Kautz Gyula művei. [2]

Az előkészítő tanfolyámban			
Éo	I. évfolyam	Éo	II. évfolyam
	a. szorg. lomból	erőtel. ból	a. szorg. lomból
			erőtel. ból
1870	gy. szorg. felh.		gy. szorg. felh.
A szakfolyámban			
Éo	I. évfolyam	Éo	II. évfolyam
	a. szorg. lomból	erőtel. ból	a. szorg. lomból
			erőtel. ból
	gy. szorg. felh.		gy. szorg. felh.
Az abszolutórium számára			
Szorgalmi osztályzat		erőtel. osztályzat	
gy. szorg.		gy. szorg.	

Előkészítő tanfolyam							
Tanfolyam	Elemi ism. és fel. oszt. menny. seglani	Általános mér. tan	Termékek. tan	Általános vegytan	Össz. tan	Szakkeres. rajz	Termékek. vegytan
Előmeneteli osztályzat	jeles.	Művészeti rajz. jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.
szorgalmi oszt.							
Szakfolyam							
Tanfolyam	Bányaművelés. tan	Építész. tan	Építészeti. rajz	Bányászati. gép. tan	Bányászati. rajz	Bányászati. gép. tan	Bányászati. rajz
Előmeneteli osztályzat	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.
szorgalmi oszt.							
Tanfolyam	Könyvvitel	Bánya. mér. tan	Bánya. mér. tan. seglani	Építész. felh. oszt.	Általános felh. oszt.	Bányászati. felh. oszt.	Bányászati. felh. oszt.
Előmeneteli osztályzat	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.	jeles.
szorgalmi oszt.							
a) utó szorg. alkalmával b) ismételt szorg. alkalmával c) ismételt szorg. alkalmával							

1. ábra. Hallgatói törzskönyv Selmezbányáról az 1869/1870. tanévből [2]

Az idők folyamán a műszaki tudományokkal együtt bővültek a mérnökhallgatók gazdasági ismeretei is. Susánszky és Vargha [4] feljegyzései alapján a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen az 1970-es években gazdasági ismeretek vonatkozásában öt területet lehetett elkülöníteni:

- általános gazdasági ismeretek oktatása valamennyi műszaki karon,
- üzemszervezési szakirányú képzés: rendszerszervezési, üzemszervezési, munkaszervezési, szervezés- és vezetélméleti ismeretek,
- rendszerszervezői ágazati képzés: rendszerelméleti, döntéshozókészítési, tervezési ismeretek,
- üzemszervezői, üzemmérnöki képzés: rendszerszervezési, üzemszervezési, munkaszervezési, szervezés- és vezetélméleti, ipargazdaságtani illetve általános statisztikai ismeretek,
- gazdasági mérnök képzés: szervezés- és vezetélméleti, ipargazdaságtani, általános és ipari statisztikai, tervezési, munkaszervezési, ergonómiai, piackutatási, ügyviteltechnikai, könyvviteli, pénzügyi, beruházáspolitikai, stratégiai és nemzetközi gazdasági ismeretek.

2. GAZDASÁGI ISMERETEK A MŰSZAKI SZAKOK KÉPZÉSI ÉS KIMENETI KÖVETELMÉNYEIBEN

Az európai felsőoktatás képesítési keretrendszerét 2006-ban fogadták el a felsőoktatásért felelős miniszterek. Ez a keretrendszer nemzetközi és szektorális keretrendszer. Outputorientált, azaz a felsőoktatás által kiadott képesítések (rövid ciklusú felsőoktatási szakképzések, BA/BSc, MA/MSc, PhD) számára határoz meg kimeneti standardokat és kredittartományokat. Magyarországon ezek a standardok jogszabályi formában 2006-ban jelentek meg. A képzési és kimeneti követelményeket (KKK) a 15/2006. számú oktatási miniszteri rendelet 1. melléklete tartalmazta. A bevezetést követően szerzett tapasztalatok

alapján a tartalmi felülvizsgálat már 2009-ben elkezdődött. A szakértők által kialakított keretrendszert a kormány 2012-ben fogadta el. A keretrendszer felsőoktatásra vonatkozó részeinek ágazatspecifikus kidolgozására ezt követően került sor. A képzési és kimeneti követelmények kidolgozására a Magyar Rektori Konferencia közreműködésével került sor. A megújult képzési és kimeneti követelmények 2016. augusztusában jelentek meg miniszteri rendelet formájában. [1, 3]

<p style="text-align: center;">... ALAPKÉPZÉSI SZAK</p> <p>1. Az alapképzési szak megnevezése:</p> <p>2. Az alapképzési szakon szerorzhető végzettségi szint és a szakképzettség oklevélben szereplő megjelölése</p> <p>3. Képzési terület:</p> <p>4. A képzési idő félévekben:</p> <p>5. Az alapfokozat megszerzéséhez összegyűjtendő kreditek száma:</p> <p>6. A szakképzettség területek egységes osztályozási rendszere szerinti tanulmányi területi besorolása:</p> <p>7. Az alapképzési szak képzési célja és a szakmai kompetenciák</p> <p>7.1. Az elsajátítandó szakmai kompetenciák</p> <p>7.1.1. ... alapképzési szakon a ...</p> <p>a) tudása</p> <p>b) képességei</p> <p>c) attitűdje</p> <p>d) autonómiája és felelőssége</p> <p>8. Az alapképzés jellemzői</p> <p>8.1. Szakmai jellemzők</p> <p>8.2. Idegennyelvi követelmény</p> <p>8.3. A szakmai gyakorlatra vonatkozó követelmények</p>

2. ábra. Az alapszakok képzési és kimeneti követelményeinek általános szerkezete

A felsőoktatási törvény megfogalmazása alapján a képzési és kimeneti követelmények azoknak az ismereteknek, jártasságoknak, készségeknek, képességeknek és tudásnak az összessége, amelynek megszerzése és/vagy elsajátítása esetén az adott szakon oklevél kiadható. A képzési és kimeneti követelményeket miniszteri rendelet szabályozza, ami esetünkben a 18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelményeiről, valamint a tanári felkészítés közös követelményeiről és az egyes tanárszakok képzési és kimeneti követelményeiről szóló 8/2013. (I. 30.) EMMI rendelet módosításáról. A rendelet három képzési szint képzéseire tér ki: a felsőoktatási szakképzésre, az alapképzésre illetve a mesterszintre. Valamennyi esetben a

képzési és kimeneti követelmények egységes logika alapján épülnek fel. (Lásd 2. ábra) Egy-egy szak KKK-ja tartalmazza:

- a szak és a szakképzettség megnevezését,
- a képzési területet,
- a képzési időt,
- az összegyűjtendő kreditek számát,
- a szak célját,
- az elsajátítandó kompetenciákat tudás, képesség, attitűd, autonómia és felelősség bontásban,
- a képzés szakmai jellemzőit,
- az idegen nyelvi követelményt,
- a szakmai gyakorlatra vonatkozó követelményeket (amennyiben releváns), valamint
- mesterképzés esetén a mesterképzésre történő belépés kritériumait.

Az adott képzés szakmai tartalma, ennél fogva a gazdasági ismeretek helye és szerepe a képzés céljában, szakmai jellemzőiben illetve az elsajátítandó kompetenciákban ragadható meg. A továbbiakban az egyes képzési szinteken ezeket vettem górcső alá.

2.1 Gazdasági ismeretek a műszaki felsőoktatási szakképzésben

A 18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet 2. melléklete tartalmazza valamennyi felsőoktatási szakképzési szak közös moduljának jellemzőit. Ezeket az előírásokat valamennyi felsőoktatási szak – azaz esetünkben az egyetlen műszaki felsőoktatási szak, a műszaki felsőoktatási szakképzés – esetében alkalmazni szükséges. A közös modulnak két gazdasági vetülete figyelhető meg. A munkaerőpiaci ismeretek nevesített szakmai követelménye a munkaerőpiac alapfogalmainak ismerete, illetve a gazdálkodó szervezetek fogalmának, típusainak ismerete. A tárgyi tudás mellett a melléklet két főbb kompetenciát emel ki: önfoglalkoztatási kompetenciák, vállalkozói magatartás. A pénzügyi információfeldolgozási alapismeretek olyan, a hétköznapi életben előforduló számítási feladatokat, helyzeteket fogalmaznak meg, mint például a százalékszámítás, a kamatos kamat számítás, az ÁFA- és adószámítások, vagy a számlázási alapismeretek.

Egyéb gazdasági ismeretek ezen a szinten csak indirekt módon jelennek meg a KKK-ban. A képzés célja megfogalmazza, hogy a végzett hallgatók ismereteik – így gazdasági ismereteik – és gyakorlati szaktudásuk birtokában támogatni tudják a mérnökök, döntéshozók munkáját. Továbbá rendelkeznek a jövőbeni középvezetői feladatok ellátásához szükséges minőségirányítási, vezetési és szervezési ismeretekkel.

2.2 Gazdasági ismeretek a műszaki alapképzési szakokon

A 23 műszaki alapszak többsége sem direkt, sem indirekt módon nem jeleníti meg a képzés céljánál a gazdasági ismereteket. Hat szaknál azonban a felsőoktatási szakképzésnél már ismertetett gyakorlatot figyelhetjük meg.

Az elsajátítandó gazdasági kompetenciák elsősorban a tudás illetve az autonómia és felelősség kompetenciaelemeknél jelennek meg. A hivatásos repülőgép-vezetői alapképzési szak kivételével valamennyi műszaki alapszak úgy fogalmaz, hogy a hallgató tudástárának része a közgazdasági és menedzsment ismeret. Ennek tipikus megjelenési formája a következő: a hallgató más ismeretekkel együtt ismeri a szakterülethez szervesen kapcsolódó minőségbiztosítási, információtechnológiai, jogi, közgazdasági és menedzsment szakterületek alapjait. Mindez több alapszaknál látens módon összhangban áll az autonómia és felelősség kompetenciaelemmel, miszerint a végzett hallgató szakmai feladatainak elvégzése során

felelősségteljesen együttműködik más (elsődlegesen gazdasági és jogi) szakterület képzett szakembereivel is.

A kompetenciák tehát közvetlen vagy közvetett módon utalnak a gazdasági ismeretek szükségességére, ugyanakkor nem adnak választ arra, hogy a gazdaságtan mely szűkebb területei és milyen mélységben épüljenek be a műszaki képzésbe. Huszonkét szak nem külön gazdasági, hanem gazdasági és humán ismereteket tüntet fel az alapképzés szakmai jellemzői között. (Kivételt képez az építészmérnöki alapképzési szak, amely kreatív készségfejlesztési, művészeti és műveltségi, humán és társadalomtudományi, valamint természettudományos, műszaki, gazdasági és jogi ismeretek és segédtudományok ismeretkörökhöz rendel 32-63 kreditet.) A leggyakoribb alsó korlát 14 kredit (15 szak), a leggyakrabban előforduló felső korlát 30 kredit (15 szak). A szakok 90%-a legalább fél szemeszter, kétharmada legalább fél, legfeljebb egy félév gazdasági és humán ismeretet definiál a hét féléves képzés időtartama során. A konkrét ismeretkörökre tekintve az alábbi említésekkel találkozhatunk:

- közgazdaságtan/mikroökonómia/makroökonómia – 12 szak,
- menedzsment – 12 szak,
- vállalkozás/vállalatgazdaságtan – 12 szak,
- projektmenedzsment – 3 szak (illetve indirekt említések),
- EU ismeretek – 3 szak (illetve indirekt említések),
- pénzügy – 2 szak,
- számvitel – 2 szak,
- nincs nevesített ismeret – 9 szak.

2.3 Gazdasági ismeretek a műszaki mesterképzési szakokon

A műszaki mesterképzési szakok száma 37. A szakok KKK-i a képzések céljait árnyaltabban fogalmazza meg, mint az alapszakok képzési és kimeneti követelményei. A szakok 60%-a a gazdasági ismereteket semmilyen formában sem építi be a képzési célba. Tizenegy szak a felsőoktatási szakképzésnél illetve az alapképzésnél megismert megoldással él. Például a logisztikai mérnöki mesterképzési szak esetében a képzés célja olyan logisztikai mérnökök képzése, akik természettudományos, specifikus műszaki, gazdasági, menedzsment, informatikai és ipari, közlekedési technológiai ismereteik birtokában alkalmasak a vállalatokon belüli és a vállalatok közötti anyagáramlási, valamint az ahhoz kapcsolódó információáramlási folyamatok és rendszerek elemzésére, tervezésére, szervezésére és irányítására. Ez a kiragadott példa rávilágít ugyanakkor egy új jelenségre. Az általános gazdasági ismeretek mellett megjelenik a célfüggvényben a szervezési és az irányítási ismeretek iránti igény is.

Az elsajátítandó gazdasági kompetenciák továbbra is jellemzően a tudás illetve az autonómia és felelősség kompetenciaelemeknél jelennek meg. A tudás esetében háromféle megjelenési formáról beszélhetünk:

- a gazdasági ismeretek más ismeretekkel együtt jelennek meg a következő jellemző formában: a hallgató ismeri és érti a műszaki szakterülethez kapcsolódó más szakterületek (például: logisztikai, menedzsment, környezetvédelmi, minőségbiztosítási, információtechnológiai, jogi, közgazdasági, munka- és tűzvédelmi, biztonságtechnikai területek), határait, követelményeit és a fejlődés várható irányait.
- a gazdasági ismeretek más ismeretekkel együtt jelennek meg az alábbi módon: a hallgató átfogó ismeretekkel rendelkezik a globális társadalmi és gazdasági folyamatokról.
- önállóan, nevesített formában, miszerint: a hallgató ismeri a vezetéshez kapcsolódó szervezési (és motivációs) eszközöket valamint módszereket.

A tudás illetve az autonómia és felelősség – az alapszakokhoz hasonlóan – több esetben tartalmi összhangot mutat. Ennek gyakori formája a következő: a hallgató döntéseit körültekintően, más szakterületek (elsősorban jogi, közgazdasági, ...) képviselőivel konzultálva, önállóan hozza meg, teljes felelősségvállalással.

A gazdasági ismeretek és kompetenciák vonatkozásában a deskriptorokat (tudás, képesség, attitűd, autonómia és felelősség) a célokkal együtt vizsgálva véleményem szerint 5 kulcsfogalom emelhető ki:

- vezetés,
- szervezés,
- irányítás,
- döntés,
- csapatmunka.

Vajon a mesterszakok szakmai jellemzői ezzel harmonizálnak?

Harminchárom szak gazdasági és humán ismereteket tüntet fel a mesterképzés szakmai jellemzői között. Az építész mesterképzési szak illetve az építészmérnöki osztatlan szak tágabb kört határoz meg. Ebbe a körbe tartoznak a kreatív készségfejlesztési, művészeti és műveltségi, humán és társadalomtudományi, valamint természettudományos, műszaki, gazdasági, jogi ismeretek és segédtudományok. A településmérnöki mesterképzési szak az általános társadalomtudományi ismeretek kifejezéssel él, a védelmi vezetéstechnikai rendszertervező mesterképzési szak pedig nem nevesít sem gazdasági, sem társadalomtudományi ismereteket. A jellemző kredittartomány a 10-20 kredit.

A szakmai jellemzőket vizsgálva megfigyelhető, hogy a szakok közel fele (17 szak) nem nevesített sem gazdasági, sem egyéb humán ismereteket. A nevesített ismeretkörök gyakoriság szerint az alábbiak:

- vezetési és menedzsment ismeretek – 13 szak,
- minőség, minőségmenedzsment – 7 szak,
- projektmenedzsment – 6 szak,
- marketing – 6 szak,
- pénzügy – 6 szak,
- gazdálkodási, vállalkozási ismeretek – 4 szak,
- technológiamenedzsment – 3 szak,
- közgazdaságtan – 3szak.

A mesterképzési szakok képzési és kimeneti követelményei tartalmazzák a mesterképzésre történő belépés kritériumait is. Ezeknek szintén vannak gazdasági vonatkozásai. A szakok közel 90%-a belépési feltételként elvár 10 vagy legalább 10 kredit értékű gazdasági és humán ismeretet, mint például:

- közgazdaságtan (31 szak),
- menedzsment (23 szak),
- minőségbiztosítás (15 szak),
- vállalkozás/vállalatgazdaságtan (9 szak).

3. KÖVETKEZTETÉSEK

A képzési keretrendszer szintjei kumulatívak, azaz a magasabb szint magában foglalja az alacsonyabb szintek tanulási eredményeit is. [1] Az alapszak a felsőoktatási szakképzésre, a mesterszak az alapszakra épül. Ez az egymásra épülés a három szint között azonban hiányosan jelenik meg. A felsőoktatási szakképzés munkaerőpiaci és pénzügyi ismeretei nem köszönnek vissza az alapszakok KKK-iban. A munkaerőpiaci és pénzügyi ismeretek helyett az alapszakokon a közgazdasági, vállalatgazdaságtani és menedzsment ismeretek élveznek

prioritást. A mesterszakok belépési kritériumai és szakmai jellemzői azonban szerves folytatásai az alapszakoknál bemutatott gazdasági ismereteknek (közgazdaságtan, menedzsment, vállalatgazdaságtan).

Miként a képzési szintek között, úgy a képzési szinteken belül is csak részleges összhangról szólhatunk. Az egyes képzési szinteken a szakmai kompetenciák – elsősorban a tudás – és a szakmai jellemzők szinkronja nem tökéletes. Alapszakok esetében a közgazdaságtan és a menedzsment ismeretek mind a tudásnál, mind a szakmai jellemzőknél megjelennek. A minőséggel kapcsolatos kérdések azonban csak a kompetenciáknál, a vállalatgazdaságtani ismeretek pedig csak a szakmai jellemzőknél szerepelnek. Mesterképzéseknél erősebb a kompetenciák és a szakmai jellemzők együttmozgása. A kompetenciáknál direkt és indirekt módon fellelhető vezetési, menedzsment ismeretek általános és specifikus formában (például projektmenedzsment, minőségmenedzsment, technológiamenedzsment) részei a szakmai jellemzőknek is. Mindössze a marketing és pénzügyi ismeretek azok, amelyek jellemzően hiányoznak a kompetenciákból.

A képzési szintek egymásra épülése nem zárja ki, hogy újabb és újabb fókuszpontok kerüljenek be az egyes szintek képzési és kimeneti követelményeibe. A képzési szintek korlátozott egymásra épülése azonban ezt szükségszerűen maga után vonja. Az egyetlen felsőoktatási szakképzési szaknál a súlypont a munkaerőpiac és a pénzügy. Alapszakoknál ilyen súlyponti terület nehezen ragadható meg. Egyszerűen szólva azt is mondhatjuk, hogy legyen valami gazdasági ismeret a mérnökhallgató birtokában. Mesterszinten viszont egyértelműen a vezetővé válás és az ehhez szükséges kompetenciák, ismeretkörök dominanciája figyelhető meg.

Megfigyelhető tovább az, hogy a képzési szintek növekedésével együtt nő a gazdasági és humán ismeretek aránya a műszaki képzés KKK-iban. Az alapszakoknál a gazdasági és humán ismeretek általában az összkredit 6,7-14,3%-át tették ki. Mesterszakok esetében ez az arány 8,3-16,7% közé esik. Jelentősen nő azonban a gazdasági és humán ismeretek aránya, amikor a szakdolgozathoz rendelt kreditek nélküli kreditértékhez – azaz a tényleges kontaktórákhoz tartozó kreditekhez – viszonyítunk. Huszonkét alapszak (a 23 szakból!) a szakdolgozathoz 15 kreditet rendel. A gazdasági és humán ismeretek jellemző kredittartományát (14-30 kredit) viszonyítva a $210-15=195$ kredithez, 7,2-15,4%-ot kapunk. A 37 mesterszakból 28 szak a szakdolgozathoz 30 kreditet társít. Ebből a 28 szakból 18 szak a gazdasági és humán ismeretekhez 10-20 kreditet rendel. Mesterszinten a gazdasági és humán ismeretek jellemző tartományát (10-20 kredit) a $120-30=90$ kredithez viszonyítva pedig immár 11,1-22,2%-ot kapunk.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DERÉNYI, A. – VÁMOS, Á:** *A felsőoktatás képzési területeinek kimeneti leírása.* Oktatási Hivatal, 2015.
- [2] **LOSSNÉ ÁCS, M.:** *Gazdasági ismeretek oktatása Selmecen.* kézirat, 2015.
- [3] **MUSINSZKI, Z. – JAKKEL, V:** *The Impact of Globalization on the Education of Accounting in Hungary.* In: Kékesi Tamás (szerk.) MultiScience - XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. Miskolc, 2017. Paper F5. 8 p.
- [4] **SUSÁNSZKY, J. – VARGHA, J:** *Rövid ismertető az Ipargazdaságtani Tanszék multjáról és jelenéről.* kézirat,
- [5] 18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelményeiről, valamint a tanári felkészítés közös követelményeiről és az egyes tanárszakok képzési és kimeneti követelményeiről szóló 8/2013. (I. 30.) EMMI rendelet módosításáról

MAGNETOTELLURIKUS ADATOK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA

STATISTICAL INVESTIGATION OF MAGNETOTELLURIC DATA

NÁDASI Endre¹, TURAI Endre², SZABÓ Norbert Péter³

¹tanársegéd, kutató mérnök, gfn@uni-miskolc.hu

¹Geofizikai Tanszék, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem

²egyetemi docens, gfturai@uni-miskolc.hu

²Geofizikai Tanszék, Miskolci Egyetem

³egyetemi docens, tudományos főmunkatárs, gfnmail@uni-miskolc.hu

³Geofizikai Tanszék, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem

Kivonat: Jelen publikáció magnetotellurikus (MT) geofizikai adatok statisztikai vizsgálatát tartalmazza. Klasszikus és modern, többváltozós statisztikai módszereket egyaránt felhasználtunk. A számításokat már feldolgozott adatokkal, a szondázási görbék látszólagos fajlagos ellenállás és fázis értékeivel végeztük. Az északkelet-magyarországi Cserehátból származó 24 MT állomás adatai képeztek vizsgálatunk tárgyát. Átlag szondázási görbék és korrelációs térképek előállítás, valamint klaszteranalízis alkalmazása alapján vontuk le geofizikai és a mérési területre vonatkozó földtani következtetéseinket.

Kulcsszavak: geofizika, elektromágneses indukció, magnetotellurika, statisztika, klaszteranalízis

Abstract: This paper deals with statistical analysis of magnetotelluric (MT) data. Classical and modern, multivariate statistical methods were applied as well. The calculations were done on processed MT data, on the apparent resistivity and phase values of MT sounding curves. The object of our statistical investigations was the 24 MT station data from the Cserehát region, NE Hungary. The geophysical and local geological conclusions were drawn based on the prepared average sounding curves, correlation maps and the results of cluster analysis.

Keywords: geophysics, electromagnetic induction, magnetotellurics, statistics, cluster analysis

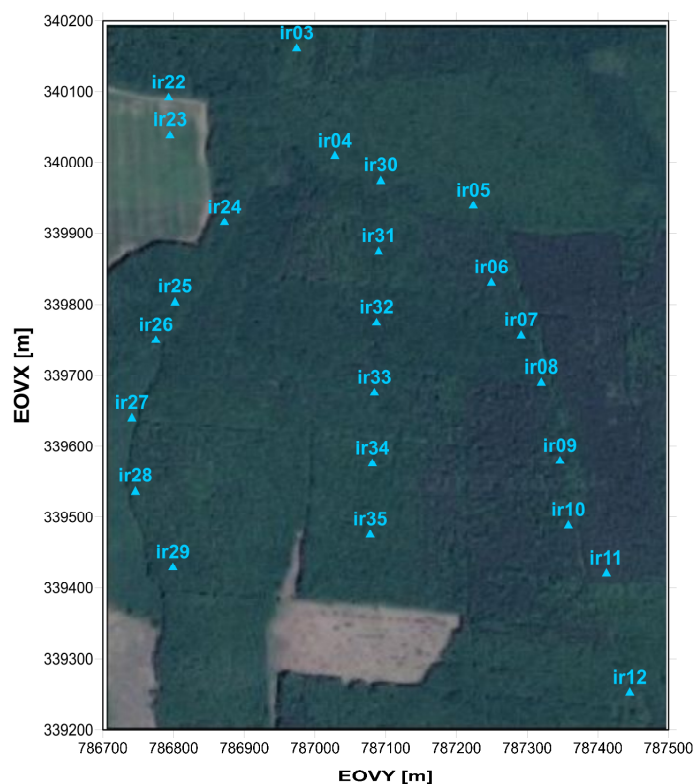
1. BEVEZETÉS

A magnetotellurika (MT) passzív elektromágneses geofizikai kutatómódszer, melynek vizsgálati mélysége – a regisztrált hullámok periódusidejétől függően – a néhány tíz métertől a több száz kilométerig terjed, így akár a földköpeny vizsgálatára is alkalmas. Használata során a természetes elektromágneses tér vízszintes komponenseinek a Föld felszínén történő mérésével becsüljük a felszín alatti térrész elektromos fajlagos ellenállását. Alkalmazási területe széleskörű: a tudományos célú köpenykutatáson túl az érc-, a szénhidrogén- és a geotermikus kutatásoknál is elterjedt geofizikai módszer.

Jelen tanulmányban az észak-magyarországi Cserehátban gyűjtött MT adatrendszer statisztikai vizsgálatát végeztük el annak érdekében, hogy a 3D inverziós feldolgozást további információkkal támogassuk meg. Az Irota, Gadna és Felsővadászi községek közötti erdővel borított mérési területen 24 MT állomás adatai álltak rendelkezésünkre (1. ábra). Az adatok ércutatási céllal kerültek regisztrálásra, ugyanis a régóta inaktív kutatási területen szulfid ásványosodáshoz kapcsolódó ércdúsulás remélhető. Mindezt a korábbi fúrásos kutatások, az ismert geomágneses és gravitációs anomáliák [1], valamint a friss földtani észlelések és anyagvizsgálatok is alátámasztják [2].

Az MT állomások adatait statisztikus frekvencia analízissel dolgoztuk fel, így előálltak minden állomásra az egyes frekvenciákhoz tartozó látszólagos fajlagos ellenállás (ρ_a) és fázis

(φ) adatok TE (transzverzális elektromos) és TM (transzverzális mágneses) módusban. Ezek a mennyiségek (ρ_{aTE} , ρ_{aTM} , φ_{TE} , φ_{TM}) képezték klasszikus (átlag, szórás, korreláció) és modern (klaszter analízis) statisztikai vizsgálataink tárgyát.



1. ábra. A mérési terület műholdképe a 24 MT mérési ponttal

2. AZ MT ADATOK FELDOLGOZÁSA

A magnetotellurikus adatok feldolgozásának alapfeladata az ún. impedancia tenzor elemeinek [3] a meghatározása. Ennek alapját a nyers mérési adatok, vagyis az elektromos és mágneses térkomponensek (E_x , E_y , H_x , H_y , H_z) terepen regisztrált idősorai jelentik. A hagyományos, ipari gyakorlatban alkalmazott magnetotellurikus adatfeldolgozás legfontosabb lépései a következők [3]:

- időtartományban történő előszűrés,
- frekvenciatartományba történő átalakítás, gyors Fourier-transzformáció (FFT- Fast Fourier Transform),
- a műszer átviteli függvényének korrekciója,
- teljesítménysűrűség spektrumok számítása,
- az impedancia tenzor elemeinek kiszámítása.

Ezt követően a látszólagos fajlagos ellenállás ($\rho_a(\omega)$) és fázis ($\Phi(\omega)$) értékek a Cagniard formulák [4] alapján számíthatók:

$$\rho_a = \frac{1}{\mu\omega} |Z_{ij}|^2 \text{ [ohmm] és} \quad (1)$$

$$\varphi_{ij}(\omega) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(Z_{ij}(\omega))}{\text{Re}(Z_{ij}(\omega))}\right) [\text{rad}], \quad (2)$$

ahol:

$i=x; j=y$ – TE módus esetén,

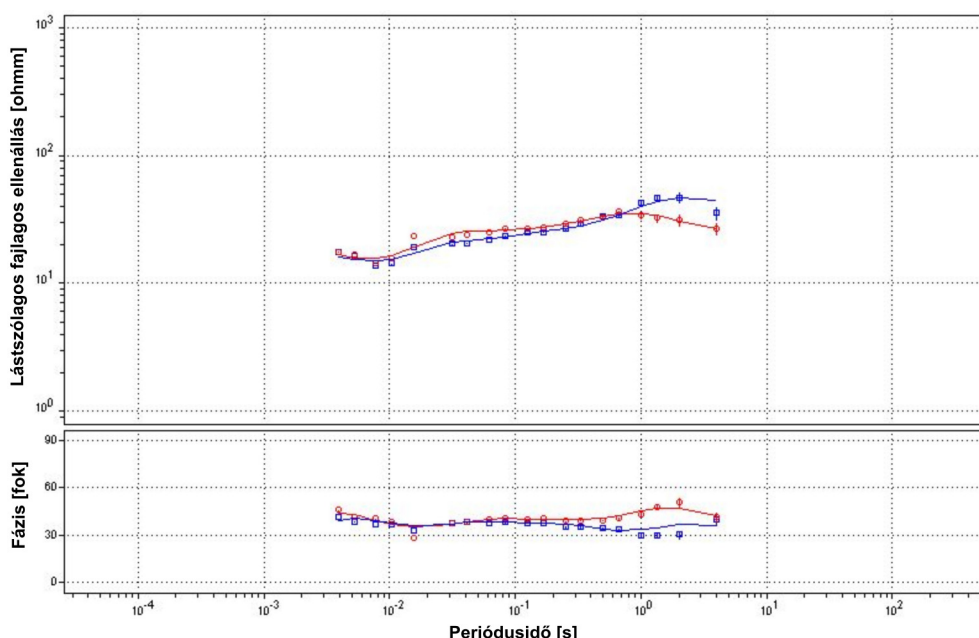
$i=y; j=x$ – TM módus esetén,

μ – a közeg abszolút mágneses permeabilitása, $\mu \approx \mu_0$,

μ_0 – a vákuum abszolút mágneses permeabilitása,

ω – a körfrekvencia.

A látszólagos fajlagos ellenállás és fázis értékeket a periódusidő függvényében ábrázolva kapjuk az egyes mérési pontokra a szondázási görbéket (2. ábra). A fent ismertetett lépések a WinGLink (verzió: 1.55) felszíni geofizikai adatfeldolgozó szoftver segítségével történtek.



2. ábra. Az ir03 mérési ponthoz tartozó MT szondázási görbe. Pirossal a TE, késsel a TM módus jelölve.

3. MÓDSZEREK ÉS EREDMÉNYEK

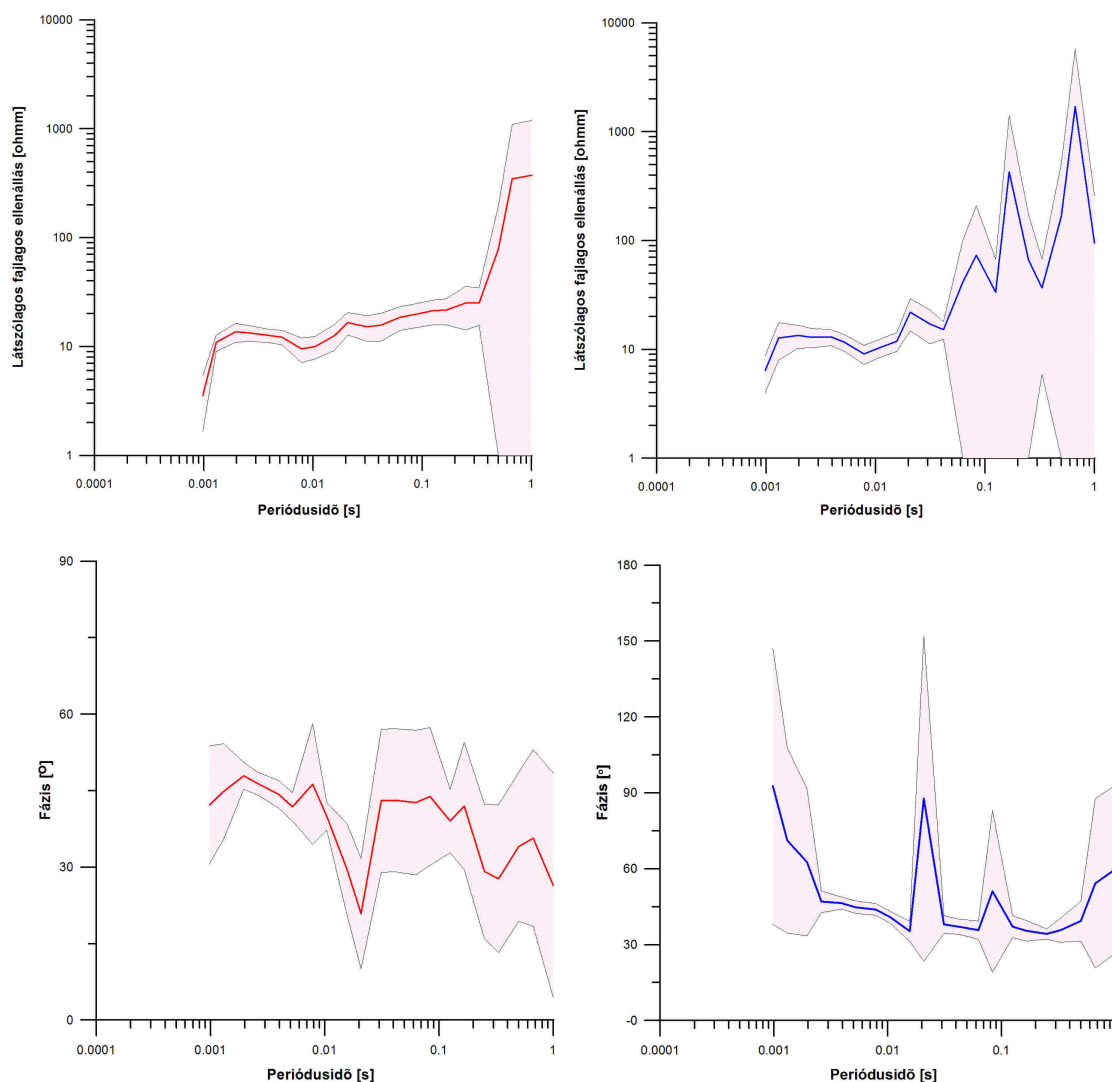
3.1. Klasszikus statisztikai elemzések

A szondázási görbék egyes frekvenciákhoz tartozó látszólagos fajlagos ellenállás és fázis értékeiből (TE és TM) átlagot (3) és szórást (4) számítottunk:

$$\rho_{a,\text{átlag}}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{a,i}}{n}, \quad \varphi_{\text{átlag}}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}, \quad (3)$$

$$\rho_{a,\text{szórás}}(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{a,i} - \rho_{a,\text{átlag}})^2}{n-1}}, \quad \varphi_{\text{szórás}}(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \varphi_{\text{átlag}})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Az így kapott értékeket a periódusidő függvényében ábrázoltuk (3. ábra), a fajlagos ellenállás adatokat log-log, míg a fázis adatokat szemilogaritmikus skálán.



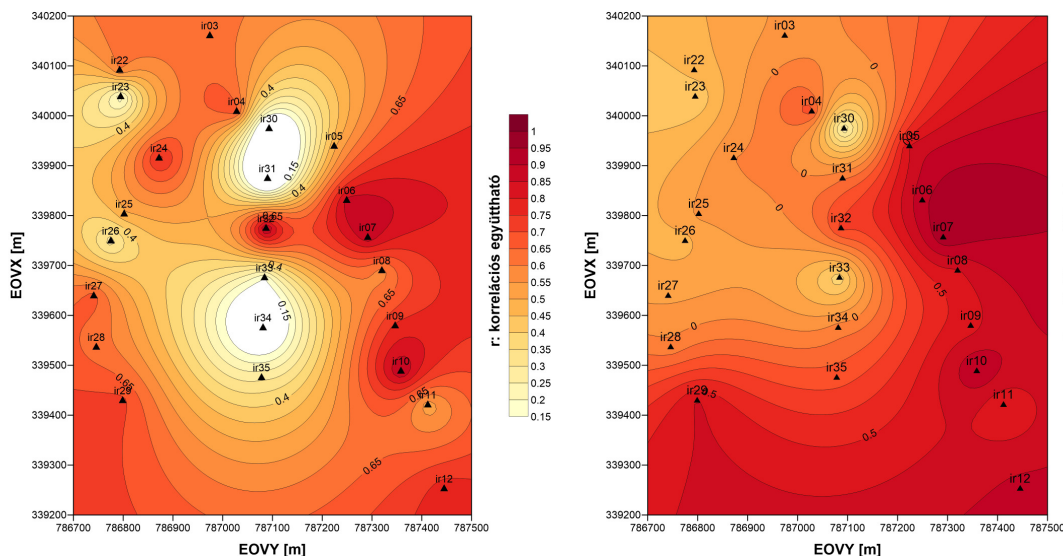
3. ábra. A területen várható MT szondázási görbék, a szórásintervallumok feltüntetésével. Piros színnel a TE, kék színnel a TM módot jelöltük. A fenti két grafikonon a látszólagos fajlagos ellenállás, alul a fázis görbék láthatóak.

A látszólagos fajlagos ellenállás görbékről elmondható, hogy a szórás a nagy frekvenciákon alacsony. TE módus esetében a 3 Hz, TM módus esetében az 50 Hz feletti frekvenciákra igaz ez a megállapítás. A fázisgörbék esetén – különösen TM módban – jelentős szórás figyelhető meg a nagy frekvenciák esetében is.

A TE és a TM szondázási görbék közötti korrelációs együtthatók (Pearson-féle) alapján korrelációs térképeket (ρ_a és ϕ) szerkesztettünk. Ezek alapján (4. ábra) a földtani szerkezet egy-, illetve többdimenziós jellegére vonatkozóan tudtunk következtetéseket levonni. Minél nagyobb ugyanis a korrelációs együttható, annál inkább egydimenziós, azaz vízszintesen rétegzett struktúrát várhatunk az adott pont esetében.

A látszólagos fajlagos ellenállásra meghatározott korrelációs térképen látható, hogy erős korrelációs értékek adódtak az ir32, ir06, ir07 és ir10 MT állomások esetében. A legalacsonyabb korrelációs együtthatók az ir30, ir31 és ir34 állomásoknál jelentkeztek. Mivel

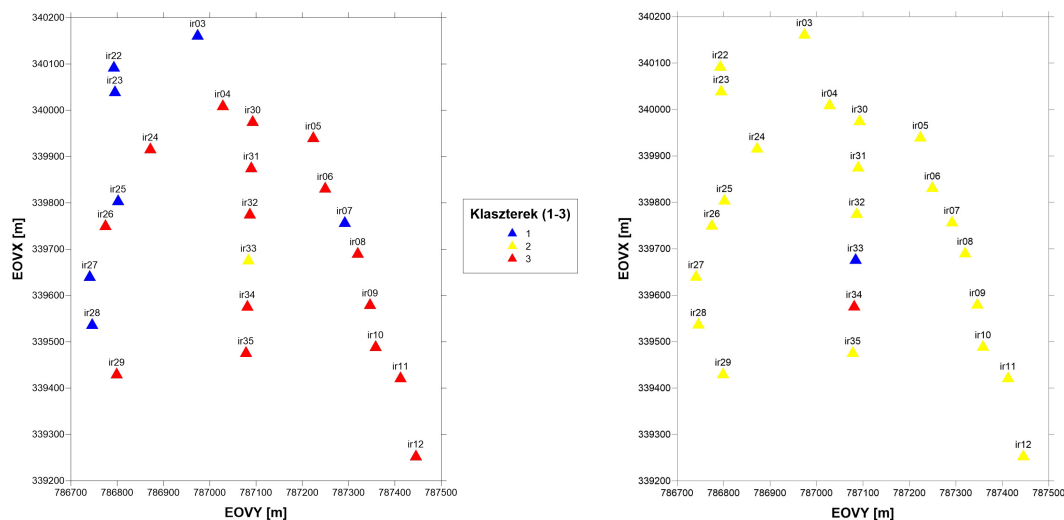
a fázisnál negatív értékek is előfordulnak, így ott természetesen negatív korrelációs értékek is megjelennek. Megfigyelhető, hogy a mérési terület keleti felére eső állomások esetében fordulnak elő pozitív, helyenként erős korrelációs együttható értékek a fázisra meghatározott térképen. A korrelációs térképek alapján megállapítható, hogy az ir6, ir7, ir9, ir10 és az ir12 mérési pontok alatt jó közelítéssel 1D a földtani szerkezet.



4. ábra. A területre meghatározott korrelációs térképek, ρ_a paraméterre – baloldalon, fázisra – jobboldalon

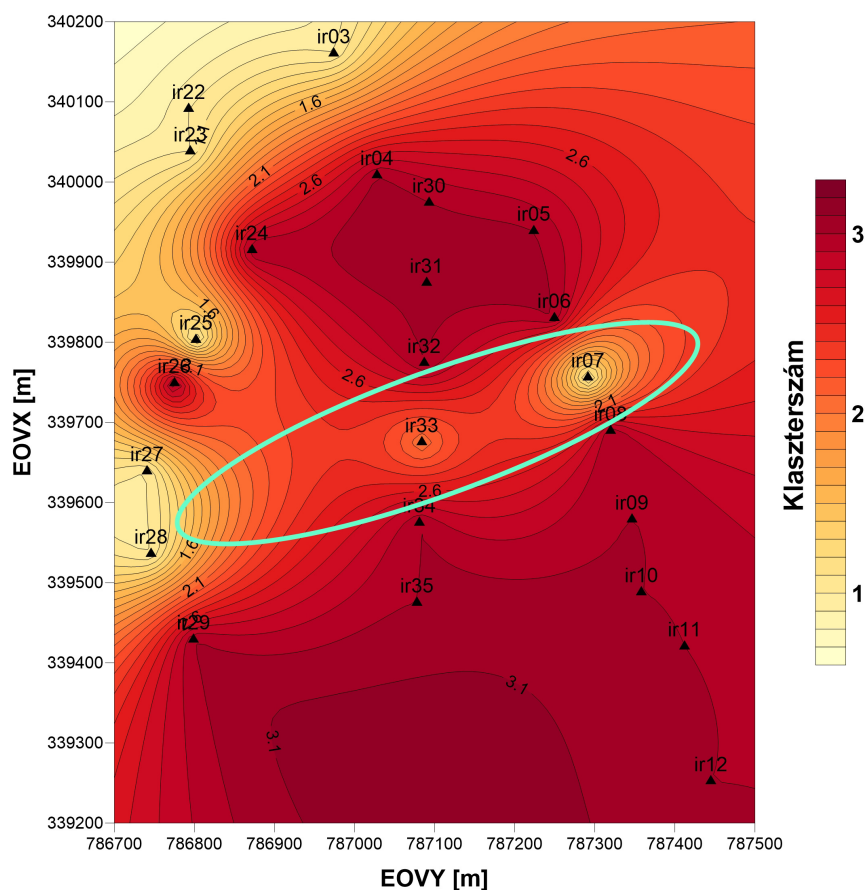
3.2. Klaszteranalízis alkalmazása

Az egyes mérési állomásokat a hozzájuk tartozó szondázási görbék alapján csoportokba rendeztük nem-hierarchikus klaszterezést alkalmazva. A nem-hierarchikus klaszterezési eljárások közül a leggyakrabban alkalmazott K-közép módszert [5] használtuk. A klaszterezést az adat objektumok között értelmezett L2 normán alapuló euklideszi és az L1 normán alapuló city-block távolság definíciók alapján is elvégeztük (5. ábra).



5. ábra. A K-közép klaszterezés eredménye city-block (bal oldal), valamint euklideszi (jobb oldal) távolság alapján

A nem-hierarchikus klaszterezési technikák sajátja, hogy a klaszterszámot előre szükséges megadni. Az MT állomások esetében tapasztalati úton 3 csoport kialakítását tartottuk megfelelőnek, de ettől eltérő csoportszámokat (2, 4, vagy 5) is létrehoztunk. Mivel az euklideszi távolságon alapuló klaszterezés érzékenyebb a kiugró elemekre, így a city-block távolság képzés használatával differenciáltabb csoportbeosztáshoz jutottunk (5. ábra). Ezt a beosztást felhasználva krigeléssel interpolált klaszter térképet készítettünk (6. ábra), melyen az ellipszissel jelölt területen anomália rajzolódik ki.



6. ábra. A K-közép módszerrel city-block távolság alapján klaszterezett MT állomások csoportszámainak interpolált (krigelés) térképe

4. KONKLÚZIÓ

Az MT szondázási görbék statisztikai vizsgálatai kiemelt fontosságúnak bizonyultak a kiugró adatok kezelésében. Az adatok minőségellenőrzésénél és a rossz mérési adatok szelektálásában is segítséget nyújtanak. Ezen műveletek elvégzése fontos lépés az inverziós futtatások megkezdése előtt.

A várható látszólagos fajlagos ellenállás és fázis, valamint a hozzájuk tartozó szórás görbék alapján megállapítható, hogy a fedő üledékes összlet közel 1D-s jelleget mutat. A TE és TM módushoz tartozó görbék rendszerint az 1 szekundum feletti periódusoknál (1 Hz-nél alacsonyabb frekvenciák) kezdenek egymástól elválni. Az átlag görbék számításával egy a területre jellemző fajlagos ellenállás szondázási görbe állt elő az 1 Hz-nél nagyobb frekvenciákra. A korrelációs térkép jól mutatja azokat a területeket, ahol az elektromágneses

szempontból többdimenziós (2D, 3D) szerkezetek megjelennek. Ugyanis minél alacsonyabb a korrelációs együttható, annál kevésbé egydimenziós a geoelektromos struktúra. A legalacsonyabb korrelációs együtthatók az ir30, ir31 és az ir34 állomások esetében jelentkeztek.

A klaszteranalízis megmutatta, hogy az előzetesen NYDNY-KÉK irányítottsággal feltételezett szerkezeti elemek (vető, vetőzóna) valóban jelen lehetnek a területen. Az ir07 és ir33 állomások által meghatározott csapás mentén ugyanis negatív anomália rajzolódik ki a klaszterszámokat megjelenítő izovonalas térképen (6. ábra), ez az irány pedig a feltételezett szerkezeti csapás-iránnyal egyezik meg.

Összességében kijelenthető, hogy az egy területről származó MT szondázási görbék statisztikai vizsgálatával hasznos információk nyerhetők, melyek a pontosabb geofizikai modell felállítását és a földtani interpretációt egyaránt segítik.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZALAY I., BRAUN L., PETROVICS I., SCHÖNVISZKY L. ÉS ZALAI P.:** *Észak-Magyarország geofizikai előkutatása – Szendrői-hegység előkutatása*, MÁELGI Évi Jel. 1987-ről. pp. 35-39.
- [2] **NÉMETH, N.:** *Geological observation in the Cserehat between Irota and Gadna*, Geosciences and Engineering, 2012, 1(1), 261-269.
- [3] **SIMPSON, F., BAHR, K.:** *Practical Magnetotellurics*, University Press, Cambridge, 2005., ISBN 0 521 81727 7
- [4] **CAGNIARD, L.:** *Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting*, Geophysics, 1953, 18, 605-635.
- [5] **MACQUEEN, J. B.:** *Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations*, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, University of California Press, 1967, 1:281-297.

A TERMELÉS ÉS A KÉSZLETEK EGYIDEJŰ OPTIMALIZÁLÁSA SZIMULTÁN LINEÁRIS PROGRAMOZÁSI MODELLEL

INVENTORY AND PRODUCTION OPTIMIZATION WITH A SIMULTANEOUS LINEAR PROGRAMMING MODEL

NAGY Lajos¹, NAGY Orsolya Bernadett²

¹Ph.D., adjunktus, nagy.lajos@econ.unideb.hu

¹Kutatásmódszertan és Statisztika Tanszék, Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar
H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

²Logisztikai menedzsment MSc hallgató, nagyorsi93@gmail.com

²Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar,
H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Kivonat: A cikkben a termelés és készletek egyidejű optimalizálását mutatjuk be szimultán lineáris programozási modellel. A kutatás során integráltan alkalmazzuk az előrejelző modelleket, a készletmodelleket és a lineáris programozást. A modellek alkalmazásával sikeresen csökkenthető az átállások száma a kiszolgálási színvonal sérülése nélkül. Ugyan valamivel magasabb a készletezési többletköltség, viszont a magasabb effektív kapacitásból származó többletbevétel révén jobb jövedelmezőség érhető el.

Kulcsszavak: lineáris programozás, előrejelzés, kiszolgálási színvonal

Abstract: In this publication we show the optimization of production and inventories with a simultaneous linear programming model. In this research predictive models, inventory models, and linear programming are used together. Using the model the number of switches can successfully be reduced without compromising service quality. Although somewhat higher are inventory costs, but higher revenue from better effective capacity, a higher profitability can be achieved.

Keywords: linear programming, forecast, service level

1. BEVEZETÉS

A dinamikus lineáris programozási modellek széles körben alkalmazhatóak az olyan problémák megoldásakor, amikor az időben egymáshoz kapcsolódó folyamatokról van szó. A folyamatok lehetnek determinisztikusak és sztochasztikusak is. Széles spektrumú alkalmazásokkal találkozhatunk a pénzügy, a logisztika, az ipari termelés, de a szolgáltatások területén is. A vasúti áruszállítás területén többperiódusos sztochasztikus modelleket alkalmazott Sayarshad és Tavakkoli-Moghaddam. Ez lehetővé tette a vasúti kocsik számának és az elosztás során az igényekben jelentkező bizonytalanság modellezését [1].

A pénzügyi tervezésben is nagyon elterjedtek az ilyen típusú modellek. Mulvey és Vladimirou dinamikus általános hálózati problémaként kezelte a pénzügyi tervezést [2]. Winston is bemutatott több lehetséges dinamikus lineáris programozási modellt, többperiódusos pénzügyi tervezésre [3].

Fishbone és Abilock az energiarendszerek elemzése során használták a többperiódusos modellezést [4]. Kimondottan a készletezési célok érvényesítésére is találkozhatunk publikációkkal [5],[6]. Mezőgazdasági alkalmazások is előfordulnak. Hagyományos mezőgazdasági kultúrák és energianövények versenyeztetésében is alkalmazták a multiperiodikus lineáris programozást [7]. Cikkünkben determinisztikus modellt alkalmazunk, ezért ezzel foglalkozunk a következő fejezetben részletesebben.

2. DETERMINISZTIKUS LINEÁRIS PROGRAMOZÁSI MODELL

A vállalkozás technológiai-, gazdasági-, pénzügyi eseményei időben változó módon, dinamikusan kapcsolódnak egymáshoz. A többperiódusos lineáris programozás lehetővé teszi a statikus egy időszakra elkészített lineáris programozási modellek kiterjesztését hosszabb időszakokra is, és ezáltal az időtényező hatásának figyelembe vételét.

A dinamikus lineáris programozási modelleknek két típusát tudjuk megkülönböztetni. A rekurzív többperiódusos modell esetén minden időszakra külön számszerű modelleket állítunk fel. A modellek száma tehát megegyezik az időszakok számával. Az első modell megoldása után, annak eredményeit felhasználva kerül sor a második modell megoldására, majd ez a folyamat folytatódik láncszerűen az utolsó modell megoldásáig. A teljes időtartam optimuma a részidőszakok optimumának az összege. Az egyes időszakok modelljei között csak előreirányuló hatás érvényesül.

Szimultán többperiódusos modell esetén a periódusok számának megfelelő számú blokkból álló kvázi diagonális mátrix modellt hozunk létre. Az egyes blokkokban találhatóak az időszakokra vonatkozó feltételek és összefüggések. Az időszakok összekapcsolását külön feltételrendszerek tartalmazzák. Az optimális programot az egész időtartamra számítjuk ki, az eredmények nem feltétlenül egyeznek meg az időszakonkénti számítások optimaival.

Mind a rekurzív, mind a szimultán modellek esetén statikus modellrészekből építkezünk. Az erőforrás felhasználását és a szükséglet tervezését szolgáló összefüggéseket hasonló módon adjuk meg, mint a statikus modellekben, de mindegyik változó egy-egy időszakhoz kapcsolódik.

A dinamikus modellek előnyei:

- többéves beruházások modellezése,
- többéves termelési folyamatok összefüggéseinek felhasználása,
- pénzügyi kapcsolatok modellezése,
- célfüggvények hosszú időtávú kezelése.

3. DÖNTÉSI PROBLÉMA

Egy ásványvizet gyártó vállalkozás igény szerinti gyártást végez. A megrendeléseket naponta összesítik, és ennek megfelelően ütemezik a következő napi gyártást. Az alkalmazott ütemezés eredményeként nagyon alacsony a készlet, azonban naponta több átállásra is szükség van, ami csökkenti a töltőrendszerek effektív kapacitását. A nyári időszakban, az áruforgalomban hét elején és hét végén magasabb az igény, mint a hét többi napján, ezekre próbálnak felkészülni a hétközi gyártások során, viszont a kis készlet miatt egy nagyobb, váratlan megrendelés esetén könnyen felborul a rendszer, ami időszakos hiányhoz vezet.

Jelen kutatásunkban heti termelési programot készítünk, napi bontásban. Ennek során figyelembe kell venni az értékesítéssel kapcsolatos feltételeket, azaz a meglévő piaci megrendeléseket, az előre jelzett megrendeléseket és a vevő-kiszolgálási színvonalat. A készleteknél az alapanyag szükségletet és a késztermék készleteket kell kezelni. A gyártási költségek minimalizálásához egyrészt adnunk kell egy ütemezést, amely megmutatja, hogy melyik nap, melyik termék típust kell legyártani, másrészt az átállási időt és az ezzel járó költségeket minimalizálni kell. Célunk az, hogy a napi gyártási terveket, az alapanyag szükségletet, valamint a készleteket egyidejűleg optimalizáljuk, a változó költségek minimalizálásával, vagy a fedezeti hozzájárulás maximalizálásával.

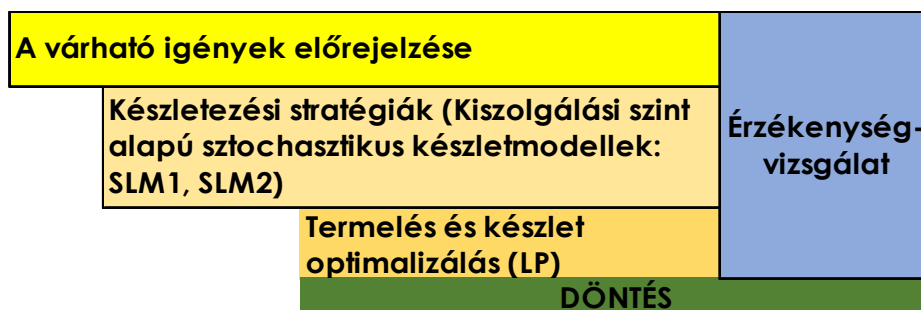
4. AZ OPTIMÁLIS PROGRAM KIVÁLASZTÁSÁNAK LÉPÉSEI

Az optimális program kiválasztása többlépéses folyamat (1. ábra).

Első lépés a várható igények előrejelzése. Az igények egy részét a megrendelések alapján, többé-kevésbé fixen meg tudjuk határozni, a másik része előrejelző modellek segítségével történik. Erre azért van szükség, hogy a napi igényeink viszonylag pontosak legyenek. Egy éves napi bontású forgalmi adatsor alapján végeztük az előrejelzési modellek tesztelését.

A következő lépésben meg kell határoznunk a készletezési stratégiáknak megfelelően, hogy milyen biztonsági készletekkel dolgozunk. Ebben a konkrét esetben kiszolgálási szint alapú sztochasztikus készletmodellekkel dolgozunk. Az SLM1 alapú modellek a hiány mennyiségét veszik alapul, az SLM2 alapú modellek pedig a készlethiányos időszakok számát. A két modell kombinált alkalmazása a célszerű.

A végső lépés a termelés és készletoptimalizálási modell felépítése és alkalmazása. A modellben felhasználásra kerülnek az első két lépésben megkapott információk.



1. ábra: Az optimális program kiválasztásnak lépései

Mind a három részhez kapcsolódik érzékenység vizsgálat. Ez arról ad számunkra információt, hogy a különböző gyakorlatban előforduló bemeneti adat változások milyen hatással vannak a kimenetekre, azaz az eredményre. Minden esetben az érzékenység vizsgálat után születik meg a tényleges döntés.

4.1. A várható igények előrejelzése

Az előrejelzések elkészítésénél az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

- egyszerűség,
- a modell pontossága a vállalkozás gyakorlati céljait reprezentálja,
- a vállalkozás nem rendelkezik speciális szoftverrel, így az is lényeges volt, hogy a gördülő előrejelzéshez könnyen automatizálható legyen akár táblázatkezelő programban is.

Többféle előrejelző modell (mozgóátlagok, exponenciális simítás, kettős mozgóátlag, Holt-Winter's-modell) tesztelése után a Holt-Winter's modell multiplikatív változata bizonyult a leghatékonyabbnak.

A vizsgálat során 2016. évi napi forgalmi adatokkal dolgoztunk. A módszerek összehasonlítása első lépésben a reziduális variancia (MSE) segítségével történt. Ekkor került kiválasztásra az első három legjobb módszer. A következő lépésben 2017 első hónapjára végeztünk gördülő előrejelzéseket, majd ezeket hasonlítottuk a tényleges forgalmakhoz. Az elemzéskor az SLM1 és SLM2 mutatók is bekerültek az adott módszer értékelésébe az MSE mutatón kívül.

A kiválasztott módszer viszonylag könnyen kezelhető, hisz leköveti az egy éven belül az évszakok miatt kialakuló keresletnövekedést és csökkenést a trendhatás figyelembe vételével,

és dinamikusan kezeli az egy héten belül megfigyelhető szezonális hatást is. Excelben is megvalósítható, hisz a Solver bővítmény segítségével az α , β és γ alapirányzatot, trendet, és szezonhatást simító paraméterek értékei egyszerűen optimalizálhatók.

4.2. Biztonsági készlet

A biztonsági készlet meghatározásánál a kiszolgálási színvonalat vettük alapul. Az egyik kiszolgálási mutató az SLM1 a kereslet azon várható része, amelyet időben kielégítenek (%). A másik (SLM2) azon ciklusok száma egy időszakban, amelyekben hiány lép fel.

4.3. Az optimális termelési szerkezet, a szükséges alapanyag és a napi készletek meghatározása

A modell változói:

x_{jk} – a j-edik termék előállított mennyisége a k-adik időszakban

y_{jk} – a j-edik termék értékesített mennyisége a k-adik időszakban

K_{jk} – a j-edik termék zárókészlete a k-adik időszakban

A_{ik} – a i-edik alapanyag szükséglet a k-adik időszakban

$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, t$

Mérlegfeltételek:

Gépsorokra vonatkozó korlátok:

$$\sum_j a_{ijk} x_{jk} \leq G_{ik} \quad (1)$$

ahol:

a_{ijk} – a j-edik termék előállításához szükséges idő az i-edik gépsoron a k-adik időszakban

G_{ik} – az i-edik gépsor kapacitása a k-adik időszakban

Az alapanyagokra vonatkozó korlátok:

$$\sum_j B_{ijk} x_{jk} - \gamma_{ik} A_{ik} \leq 0 \quad (2)$$

ahol:

B_{ijk} – a j-edik termék előállításához szükséges fajlagos alapanyag szükséglet az i-edik alapanyagból a k-adik időszakban

γ_{ik} – az i-edik alapanyag minimális beszerzési egysége a k-adik időszakban

Értékesítési korlát:

$$y_{jk} \geq D_{jk} \quad (3)$$

ahol:

D_{ijk} – a j-edik termékből a k-adik időszakra előre jelzett igény

Forgalmi egyenlegek:

A forgalmi egyenlegek meghatározásánál külön kezeljük az első időszakot és a többi időszakot, mert az első időszakban a nyitókészlet ismert.

Az első időszak forgalmi egyenlege:

$$K_0 + x_{j1} = y_{j1} + K_{j1} \quad (4)$$

Ez átrendezve úgy, hogy a nyitókészlet a jobb oldalra kerüljön, és pozitív legyen:

$$-x_{j1} + y_{j1} + K_{j1} = K_0 \quad (5)$$

A többi időszakban úgy állítjuk be a forgalmi egyenleget, hogy kihasználjuk azt, hogy a nyitókészletek megegyeznek az előző időszak zárókészletével.

$$-K_{jk-1} - x_{jk} + y_{jk} + K_{jk} = 0 \quad (6)$$

ahol:

K_0 – nyitókészlet az első időszakban

K_{jk-1} – nyitókészlet a k-adik időszakban

Alapanyag beszerzési korlát:

Ugyan mi ezzel a mérlegfeltétellel nem számoltunk a modellben, de megadható az is, hogy egy adott időszakban mekkora pénzmennyiség áll rendelkezésre az alapanyag megvásárlására. Ez a mérlegfeltétel készpénzhiány esetén segít a meglévő szűkös erőforrás legjobb kihasználásában, hisz a készpénz, mint korlátozó tényező visszahat a termelési szerkezetre. Így lehetővé válik a termelési szerkezet és az alapanyag beszerzés egyidejű rendszerszemléletű tervezése.

$$\sum_i b_{ik} \gamma_{ik} A_{ik} \leq P_k \quad (7)$$

Az effektív gépkapacitás számítása időszakonként:

$$\lambda(\sum_j \text{sgn}(x_{jk}) - 1) = S_k \quad (8)$$

Az előjel függvény zéró értéket vesz fel, ha egy termék nem kerül be a termelési szerkezetbe, és 1 lesz, ha bekerül, így megkaphatjuk a naponta gyártott termékek számát. Egy napon a gyártott termékek száma-1 átállással számoltunk. A mi esetünkben az átállási idő fix, ezért ha az átállások számát szorozzuk az egyszeri átállási idővel (λ), megkapjuk a napi összes átállási időt, amely csökkenti a napi rendelkezésre álló gépóra mennyiségét.

Biztonsági készlettel, maximális készlettel kapcsolatos feltételek:

Ezeket a feltételeket a zárókészletekre vonatkoztatva fogalmaztuk meg, a biztonsági készleteket alsó, a maximális készleteket felső korlát formájában.

A modell célfüggvénye:

$$-\sum_j \sum_k c_{jk}^v x_{jk} - \sum_j \sum_k c_{jk}^k K_{jk} - \sum_j \sum_k b_{jk} A_{jk} + \sum_j \sum_k p_{jk} y_{jk} \Rightarrow MAX! \quad (9)$$

ahol:

c_{jk}^v – alapanyag költség és készletezési költség nélkül számított fajlagos változó költség

c_{jk}^k – termékegységre jutó időarányos készletezési költség

p_{jk} – értékesítési ár

A modell célfüggvényében tehát számba vesszük a változó költségeket (készletezési és alapanyag költségek nélküli változó költség + készletezési költség + alapanyagköltség) és az árbevételt. A kettő különbsége a fedezeti hozzájárulás, tehát a bemutatott célfüggvény fedezeti hozzájárulás tartalmú.

A másik lehetőség változó költségre optimalizálni, azaz költség minimumot keresni. Ekkor a célfüggvény első három eleme változatlan, viszont az árbevétel helyett az értékesítéshez kapcsolódó fajlagos költségek szerepelnek.

5. ALAPADATOK

A kutatásban, mint már említettük, egy ásványvíz gyártásával foglalkozó vállalkozás adatait dolgoztuk fel. A cég 0,33 literes, 0,5 literes, 1,5 literes szénsavas és szénsavmentes, illetve ízesített ásványvizeket gyárt, továbbá 19 literes ballonos ásványvizet. Két gyártóvonal működik az üzemben. Az egyiken 6 gép működik, ezen gyártják a 0,33 literes és a 0,5 literes kiszerezést. A másikon 8 gép üzemel, ezen termelik a 1,5 literes és a 19 literes kiszerezésű ásványvizeket.

A gyártási bemenetben különböző alapanyagok vannak, ilyen a kupak, a preforma, a széndioxid, a víz, az ízesítőanyagok, az energia stb. Csomagolási bemenet a raklap, a fólia, a ragasztó, a fül stb. Az alkalmazottak két műszakban dolgoznak. Egy műszak 8 órás. A gyártás és a kiszállítás hétköznapi napokon van, vagyis évi 256 napon.

Az átállási idő egyik termékről a másikra 15 percet vesz igénybe, jellemzően 6 átállítás volt naponta a gyakorlatban.

6. EREDMÉNYEK

A modellt először folytonos LP modellként kezeltük, azaz nem vettük figyelembe a (8) bináris feltételt és nem kötöttünk ki egészértékűséget a változókra. A gépsorok kapacitásértékei ebben az esetben fix effektív kapacitásokat tartalmaztak. Ezt a változatot azért készítettük, hogy a duális megoldás értékelésével feltárhatók legyenek a rendszerben rejlő lehetőségek.

A következő változat már tartalmazta az átállási idővel kapcsolatos korlátot, illetve itt már az egészértékűséget is kikötöttük.

A futtatásokat gördülő tervezéssel négyhetes időtartamra végeztük, ennek alapján minden variáns 20 modell megoldását jelenti. A modellszámítások nagy száma miatt VBA segítségével automatizáltuk a folyamatokat, és az eredmények kiíratását. Az összes elemzést Excelben végeztük.

Az értékelésben három eredményt szeretnénk kiemelni. A vállalkozás tényleges eredményeit, a folytonos LP modell eredményeit, és a végső összes feltételt tartalmazó modell eredményeit. Meglepőnek tűnhet, hogy a folytonos modell esetleg rosszabb eredményeket ad, mint az egészértékű korlátozásokat is tartalmazó modell, de hangsúlyozni szeretnénk, hogy a folytonos LP modellben az előjel függvény miatt nem szerepel a kevesebb átállásból adódó kapacitásnövekedés.

A kiemelt modellek legfontosabb eredményei az 1. táblázatban találhatóak. A napi gyártott termékek átlagos számában nem mutatkozott különbség a jelenlegi helyzet és az LP eredményeiben. Abban az esetben viszont, amikor figyelembe vesszük az átállási idők kapacitásbefolyásoló hatását is (ILP), az átállások száma a felére csökken.

Az SLM1 és SLM2 kiszolgálási színvonal mutatókat is vizsgáltuk. A modellek esetén a tervezett értékeket a tényleges értékekhez hasonlítottuk, majd a 4 hét átlagát vettük. Ebben a tekintetben már érdekesebb a kép. Az LP alkalmazása esetén viszonylag nagy javulás látható, míg az ILP hasonló kiszolgálási színvonalat hozott, mint a tényleges, tehát javulást nem tudunk kimutatni.

1. táblázat: A modellfuttatások legfontosabb eredményei

Mutató	Tényleges	LP	ILP
Napi gyártott termékek száma átlagosan	6	6	3
SLM1	94%	97%	95%
SLM2	89%	92%	87%
Átállási idő megtakarítás éves	-	0 nap	12 nap
Fedezeti hozzájárulás (4 hétre)	44,6 M Ft	45,2 M Ft	46,3 M Ft

A kevesebb átállásból adódó időmegtakarítás az ILP modell esetén 12 nap, ami éves szinten közel 5%, ami jelentősnek mondható. A fedezeti hozzájárulásokat tekintve a ténylegeshez képest mindkét tervváltozat esetén növekedés figyelhető meg, az ILP alkalmazása 4% körüli többlet jövedelmet jelent. Az eredmények talán ellentmondásosnak tűnnek, hisz az „LP lazítás” kevesebb jövedelmet hoz, mint az egészértékű megoldás, azonban ne feledjük, hogy az LP-ben a gyártóvonalak kapacitása egy átlagos értéken rögzített, míg az ILP-ben változó. Ennek fényében nézve, az elérhető többletgyártásból származó többletbevételt a készletezés többletköltségével összevetve már reálisak az eredmények.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy többperiódusos matematikai programozási modell napi termelési terv készítésre vonatkozó alkalmasságát vizsgáltuk egy ásványvizet gyártó vállalkozás esetén. A modell megszerkesztésekor figyelembe vettük a piaci igényeket, a biztonsági készleteket. A célunk az volt, hogy a napi gyártási terveket, az alapanyag szükségletet és a készleteket egyidejűleg optimalizáljuk a fedezeti hozzájárulás maximumát keresve.

A modelleket 4 hetes intervallumban futtattuk gördülő tervezést alkalmazva, a megkapott eredményeket valós adatokhoz hasonlítottuk. Megállapítottuk, hogy a modell alkalmazásával csökkenthető az átállások száma a kiszolgálási színvonal csökkenése nélkül, a fedezeti hozzájárulás pedig nő. A modellezés során integráltan alkalmaztuk az előrejelzési és készletmodelleket is.

Összességében elmondhatjuk, hogy az ilyen típusú modellek alkalmazása a rövid távú gyártástervezésben hatékonyan támogatja a döntéshozókat.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SAYARSHAD, H. R., TAVAKKOLI-MOGHADDAM R.:** *Solving a multi periodic stochastic model of the rail-car fleet sizing by two-stage optimization formulation.* Applied Mathematical Modelling, volume 34, Issue 5, 2010, pages 1164-1174
- [2] **JOHN M. MULVEY, J.M., VLADIMIROU H.:** *Stochastic Network Programming for Financial Planning Problems.* Management Science, Volume 38, Issue 11, 1992, pages 1642-1664
- [3] **WINSTON, W. L.:** *Operations Research Applications and Algorithms.* Wadsworth Publishing Company, 1997, p. 870
- [4] **FISHBONE, L. G., ABILOCK H.:** *Markal, a linear-programming model for energy systems analysis: Technical description of the bnl version.* International Journal of Enenergy Research, Volume 5, Issue 4, 1981, pages 353–375
- [5] **NAGY, L.:** *Mikor és mennyit vásároljunk? Optimális gabonavásárlási stratégiák.* Agrártudományi közlemények, 2007/27, pages 175-181
- [6] **NAGY, L., GÁL, T.:** *Reducing the economic risk of animal husbandry by adapting acquisition strategies for optimal feed commodity.* Scientifical Papers Animal Sciences and Biotechnologies, Timisoara, 2007, pages 279-285
- [7] **CSIPKÉS, M., NAGY L.:** *Competing field crops and energy orchards by multiperiodic linear programming model and simulation programme package.* “Challenges for analysis of the economy, the businesses, and social progress” International Scientific Conference, Hungary, Szeged, 2009, pages 415-432

EGYENES ESZTERGAKÉS ÉLGEOMETRIÁJÁNAK TERVEZÉSE, MODELLEZÉSE ÉS VIZSGÁLATA

THE PLANNING, MODELLING AND EXAMINATION OF STRAIGHT TURNING TOOL GEOMETRY

NEMES Csaba¹, BODZÁS Sándor²

¹B.Sc., Gépészmérnök hallgató, csabanemes94@gmail.com

¹Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

²Ph.D., főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

Kivonat: A publikációban az egyenes esztergakés élgeometriájának és modelljének a létrehozását valósítjuk meg szoftver segítségével a modellterben. Célunk egy olyan program létrehozása, amely néhány hossz- és szögméret megadásával kiszámítja az annak megfelelő élgeometriát. Ezt drótváz modellként alkotja meg egy olyan fájlformátumban, ami könnyen átvihető a ma használatos CAD szoftverekbe, így ott az esetleges további változtatásokat végre lehet hajtani. Végeselemes-szimuláció segítségével adott technológiai paraméterek és anyagminőség mellett meghatározható egy optimális élgeometria a lehető legjobb forgácsolási viszonyok elérésének érdekében.

Kulcsszavak: számítógépes program, esztergálás, végeselem-módszer

Abstract: We execute the planning, modelling and examination of straight turning tool geometry with the help of a software in the modelling space. Our aim is to create a programme that – given some lengths and angles – calculates the corresponding geometry. It establishes that as a wireframe model in a file format that is easily transmittable to the CAD softwares of today, so any additional changes can be done there. An optimal geometry can be defined for the best possible chipping conditions using finite element simulation and with given technological parameters and material quality standard.

Keywords: computer program, turning, finite element method

1. BEVEZETÉS

Olyan modelltervező- és készítő célszoftvert hoztunk létre, amely megkönnyíti és egyszerűbbé teszi a forgácsoló szerszámok bonyolult élgeometriájának előállítását a modellterben. Egy ilyen szerszám modellezése bonyolult, azt nagyon könnyű elhibázni összetettsége miatt, továbbá időigényes a szerkesztése is. Ezeket a problémákat orvosoljuk a programunkkal, ugyanis pillanatok alatt elkészíthető a modell, helyesen. A publikációban a szoftver elkészítésének az elméleti hátterét fogjuk részletezni.

Fontos megjegyezni, hogy a programnak a szakmai feladatán túl további követelményeknek kellett megfelelnie. Ezek az elvárások a mai szoftverekkel szemben támasztott kritériumok. Grafikus felületű legyen a régebben használt karakteres kezelés helyett. Bővíthető, továbbfejleszthető legyen. Gyors és nem megterhelő működés. Használatához segítő funkciók elhelyezése a programban, stb.

Köszönet illeti a Seco Tools forgácsoló szerszámgyártó céget szakmai tanácsaikért, valamint a rendelkezésünkre bocsátott különböző szerszámkatalógusokért. Továbbá a Debreceni Egyetem Műszaki Karának, amiért támogatják kutatásunkat és végrehajthattuk a Végeselemes-szimulációkat.

2. A MODELLKÉSZÍTŐ SZOFTVER MŰKÖDÉSE

A program elkészítéséhez először a Seco Tools szerszámkatalógusából kiválasztottunk egy szerszámot, ami egyszerűsége miatt a DCBNR 2020K12 jelű késre esett (1. ábra).



1. ábra: Egyenes esztergakések kétféle rögzítéssel (baloldali DCBNR 2020K12) [1]

A kés jelzésének értelmezése a következő (DCBNR 2020K12) [1]:

D: Lapkarögzítés, köröm/furatos lapkarögzítés

C: Lapka alak

B: Szerszám típus, főél elhelyezési szög 75°

N: Lapka hátszög 0°

R: Kivitel, jobbos kés

20: Szár magasság

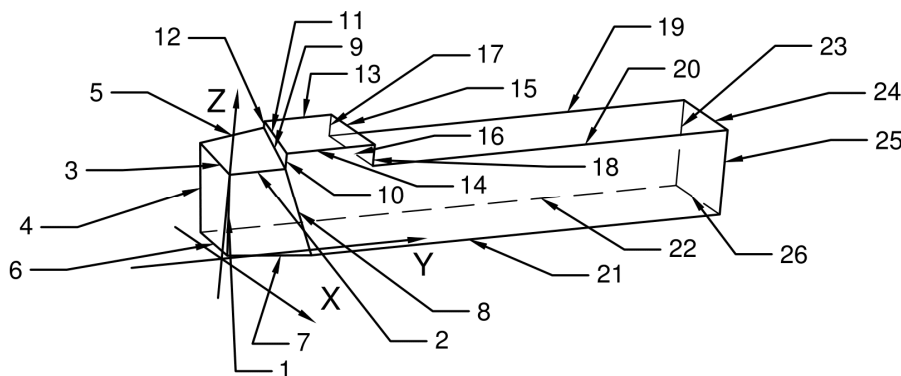
20: Szár szélesség

K: Szerszám hossz, 125mm

12: Vágóél hossz

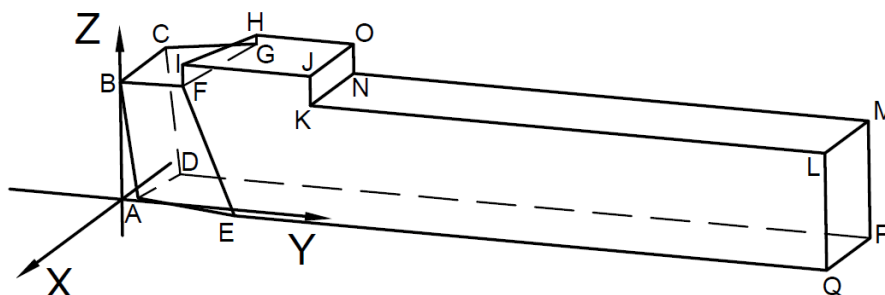
Ennek a szerszámnak a mintájára fogjuk elkészíteni a később általunk meghatározott méretekkel rendelkező kések geometriáját.

További egyszerűsítéseket végzünk a szerszám meghatározásához. Elhanyagoljuk a lapkarögzítést, az íves felületeket. Így például a szerszámcsúcs lekerekítést nem készítünk, és forgácstörő hornyot sem. Ezek után a következő ábrán (2. ábra) látható drótváz modellt kapjuk, a hozzátartozó térbeli egyenesekkel.



2. ábra: Drótváz modell a térbeli egyenesekkel

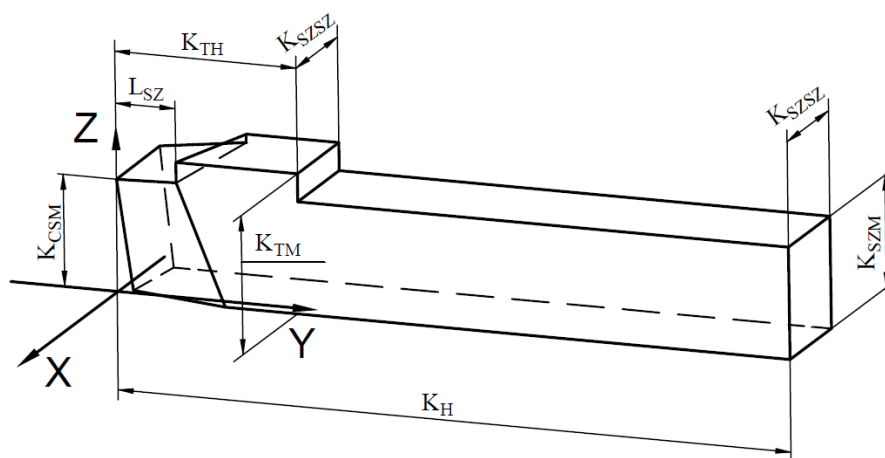
Valamennyi térbeli egyenes metszik egymást, ezáltal úgynevezett sarokpontokat kapunk (3. ábra).



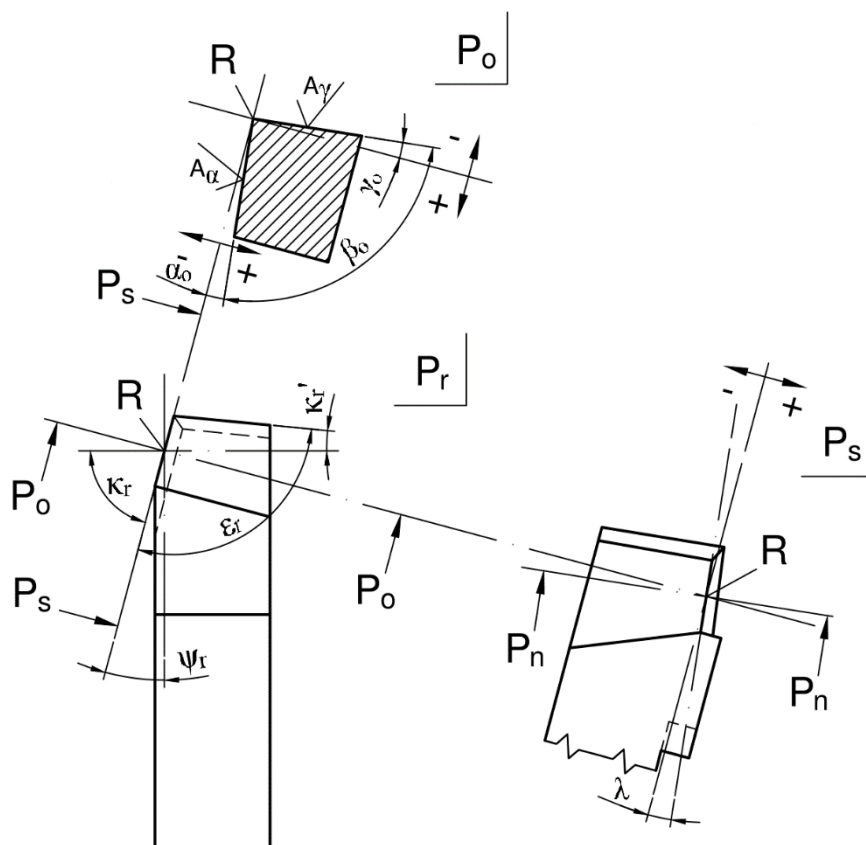
3. ábra: Drótváz modell a sarokpontokkal

Ezek a sarokpontok szintén a térben helyezkednek el, tehát meghatározásukhoz az X-Y-Z koordináták szükségesek. Mivel a forgácsoló szerszámok geometriáját szögekkel és hosszúságokkal jellemezzük, ezért úgy kell rendezni az egyenesek egyenleteit, hogy ezeket a szögeket és hosszúságokat megadva a programban számíthatóak legyenek a sarokpontok helyzete a térben. Ezután a megfelelő pontokat összekötve egyenesekkel megkapjuk a drótváz modellünket.

A következő ábrákon látható hosszúságokat (4. ábra), ill. szögméreteket (5. ábra) kell megadnunk a drótváz modell meghatározásához.



4. ábra: Drótváz modell meghatározásához szükséges hosszúságok

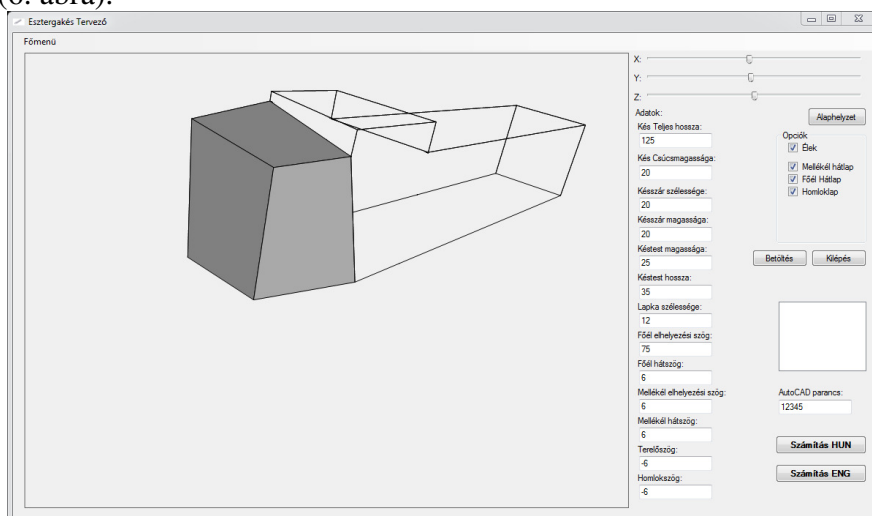


5. ábra: Drótváz modell meghatározásához szükséges szögméretek

Egyszerűségi okokból az ortogonál szerszámszög rendszert választottuk a szögméretek megadásához. Törekedtünk arra, hogy a lehető legkevesebb paraméter megadásával tudjuk meghatározni a szerszámot.

3. A MODELLKÉSZÍTŐ SZOFTVER HASZNÁLATA

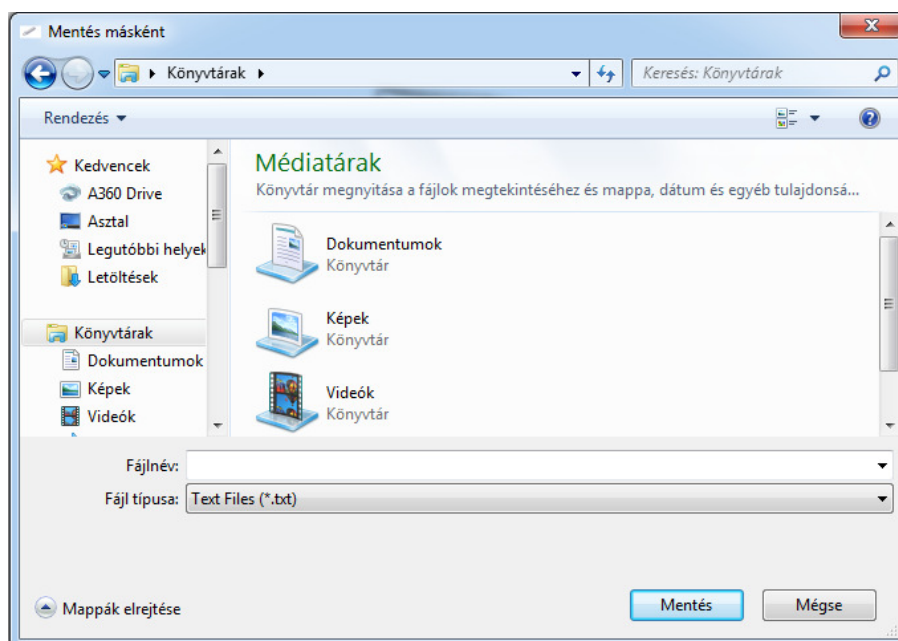
Ahogy korábban írtuk, grafikus felülettel rendelkezik a program, ami megnyitás után így jelenik meg (6. ábra).



6. ábra: Modellkészítő szoftver megjelenése

A program két részre osztható. A jobboldali rész a kezelőfelület. Itt kell megadnunk a szükséges méreteket, ill. többek között itt adhatunk parancsot a modell kimentésére vagy a program bezárására. A baloldali rész egy képernyő, ami a megadott méreteknél megfelelően kigenerált drótváz modellt jeleníti meg. A modell körbeforgatható a jobb oldalon található X-Y-Z csúszkák segítségével, ami az adott tengely körüli elfordulást irányítja. Opciók menüben lehetőségünk van a felületek megjelenítéséhez, ezáltal már egy felületekkel határolt modell kapunk.

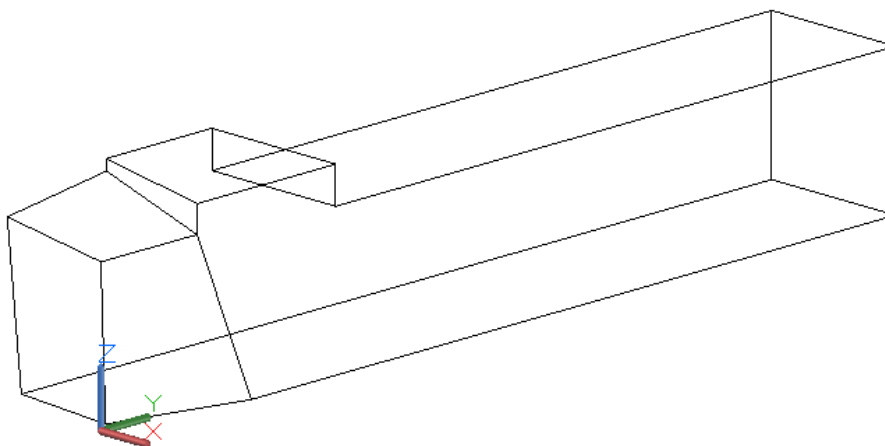
A „Számítás” gombok valamelyikére kattintva a következő szokványos ablak ugrik fel, ami tulajdonképpen a megadott értékeket menti ki tetszőleges helyre és néven a megadott fájlformátumban (7. ábra).



7. ábra: Drótváz modell mentése

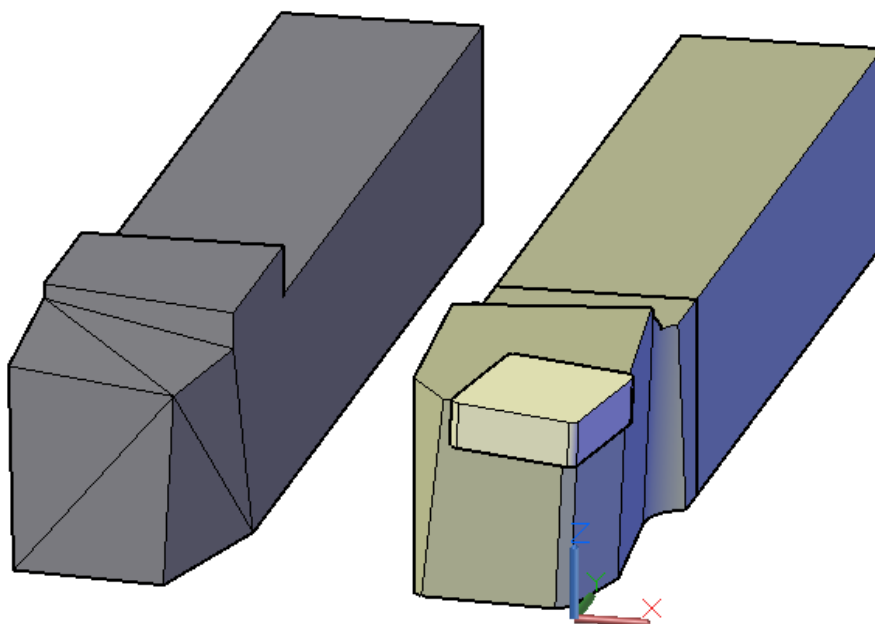
4. DRÓTVÁZ MODELL CAD SZOFTVERBEN

A szoftverünkből kimentett tetszőleges élgeometriával rendelkező drótváz modellt be tudjuk hívni egy CAD programba és a következőképpen fog megjelenni (8. ábra):



8. ábra: Drótváz modell CAD programban

A megfelelő síkokat úgy, felületekkel beborítjuk, ami körbe fog zárni egy térrészt, vagyis a szerszám belső terét. Ezek után egy egyszerű paranccsal szilárdtestté tudjuk konvertálni (9. ábra).

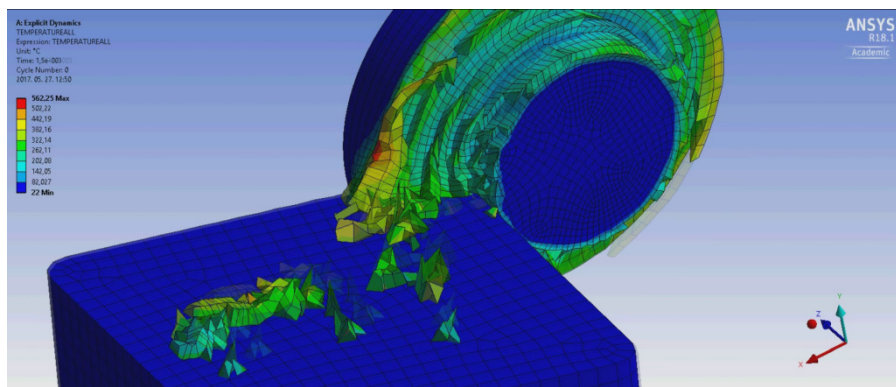


9. ábra: Szilárdtest modell CAD programban [2]

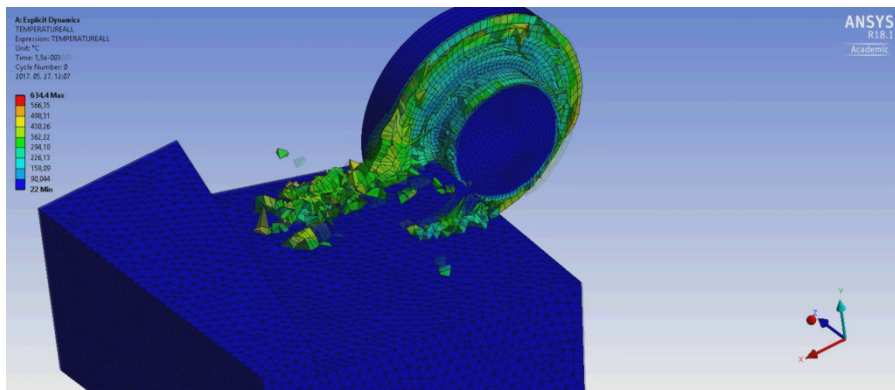
Baloldalt a programunk által generált szerszám, míg jobb oldalt a Seco Tools katalógusából kiválasztott kés látható [2]. Látható, hogy ugyan azokat a paramétereket megadva, ugyan azt a geometriát kapjuk vissza, tehát a modellünk helyes. Az esetleges eltérések az egyszerűsítésekből fakadnak.

5. SZILÁRDTEST MODELL VÉGESELEM-SZOFTVERBEN

A szilárdtestté való konvertálás azért fontos lépés, mert így a program már úgymond „tömör anyagként” kezeli, és ezt kedvünkre darabolhatjuk, hozzáadhatunk vagy kivonhatunk belőle anyagrészeket. Ha elvégeztük rajtuk a kívánt változtatásokat, akkor lehetőségünk van exportálni a modelleket különféle fájlformátumokba (.step; .iges; .sat; .stb.), amiket meg tudunk nyitni a Végeselem-szoftverekben. Így jutunk el a programunktól egészen a szimulációkig.



10. ábra: Hőfejlődés Seco Tools - féle modellel



11. ábra: Hőfejlődés saját modellen

A 10. ábrán és a 11. ábrán látható képek csupán arra hivatottak, hogy szemléltessék azt, hogy a forgácsképződés közel ugyanúgy megy végbe mindkét modellt használva, ugyanazon paraméterek beállítása mellett. Az eredmények egy nagyságrenden belül vannak. Ez a modellünk helyességét bizonyítja. Az esetleges eltérések a modellünkön végzett egyszerűsítésekből fakadnak. Nem közöljük milyen technológiai paraméterek beállítása mellett kaptuk ezeket az eredményeket, ugyanis nem feltétlen valós adatokat adtunk meg, így az eredmények sem feltétlen tükrözik a valóságot.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Végrehajtottuk az egyenes esztergákés elemzését, felírtuk a térbeli egyenesek egyenleteit, majd a megfelelő alakba kifejeztük őket.

Programozás útján létrehoztuk a szoftverünket, helyes működését többféleképpen ellenőriztük.

A grafikus felülettel rendelkező programunk a fejlesztői környezet nélkül is működik.

Az elkészített számítógépes program alkalmazásával egyszerűen és gyorsan készíthetünk egyenes esztergákés típusú modelleket.

A létrehozott modelleket CAD szoftverekben is elő tudjuk hívni, így a geometriát szabadon tovább szerkeszthetjük.

Szilárdtestként a modelleket tovább tudjuk vinni Végeselem-szoftverekbe, ahol részletesen elemezhetjük, hogy milyen hatással van az élgeometria a forgácsolási viszonyokra.

Több Végeselemes-szimulációt is lefuttattunk, majd az eredményeket kiértékeljük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Seco Tools Katalógus,**
http://www.secotools.com/corpweb/service_support/machining_navigator/cee/hungary/final_lr_turning_hu.pdf Letöltés ideje: 2016.06.06.
- [2] **Seco Tools 3D modell,**
<https://secure.secotools.com/mypages/portal/#dashboard/Portal/ProductDetails?id=02588094> Letöltés ideje: 2016.08.02.
- [3] **DUDÁS I.: Gépgyártástechnológia I., A gyártástechnológia alapjai,** 3. kiadás, Műszaki Könyvkiadó Kft., Budapest, 2011. ISBN 978-963-16-4030-4
- [4] **FRIDRIK L.: Forgácsolás I. (Forgácsoláselmélet),** Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2011.
- [5] **BÁLINT L.: A forgácsoló megmunkálás tervezése,** Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.

A REPÜLŐGÉP HAJTÓMŰVEK ÉGŐTEREIBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK ELEMZÉSE

COMBUSTION PROCESS IN THE GAS TURBINE ENGINE COMBUSTORS

NÉMETH Roland

Üzemeltető mérnök, neroland@me.com

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, H-5008, Szolnok, Killián út. 1

Kivonat: A publikáció célja, hogy bemutassa a gázturbinás hajtóművek égőtereiben lejátszódó égés teljes folyamatát. Az égőtér a gázturbinás hajtóművek egyik alapvető részegysége, melyben a tüzelőanyag kémiai energiája alakul át hőenergiává a legalacsonyabb nyomásveszteség, és legmagasabb égési hatások mellett úgy, hogy közben a károsanyag kibocsátás a legkisebb legyen. A hőközlés folyamatát sok aspektusból kell vizsgálni. A porlasztás, a megfelelőbb keverékképzés, lángterjedés és visszahűtés kulcsfontosságú részei az egész égési folyamatnak.

Kulcsszavak: égőtér, égés, nyomásveszteség, égési hatások,

Abstract: This study aimed to explain the whole burning process in the combustion chambers of gas turbine engines. Combustor is a crucial component of the gas turbine engine through which the chemical energy of the fuel is converted into thermal energy with minimal pressure loss and maximal efficiency meanwhile the emitted harmful pollutants and the deposit must be minimised. This heat addition process has many aspects which are must be examined. The fuel atomization, the best fuel-air mixture preparation, flame propagation, dilution are key elements of the whole combustion.

Keywords: combustion chamber, burning, pressure loss, combustion efficiency

1. BEVEZETÉS

Az égőtér feladata a rajta áthaladó levegővel történő hőközlés. Ezt a hőközlést tüzelőanyag elégetésével valósítják meg, tehát biztosítani kell a stabil égés feltételeit, valamint a minél tökéletesebb égést. Ez azt jelenti, hogy a tüzelőanyagban, mint energiahordozóban rejlő kémiai energiát a leghatékonyabban kinyerjük, és ezt az energiát közöljük is az átáramló levegővel [1,2].

Az égőterekkel szemben támasztott követelmények [1]:

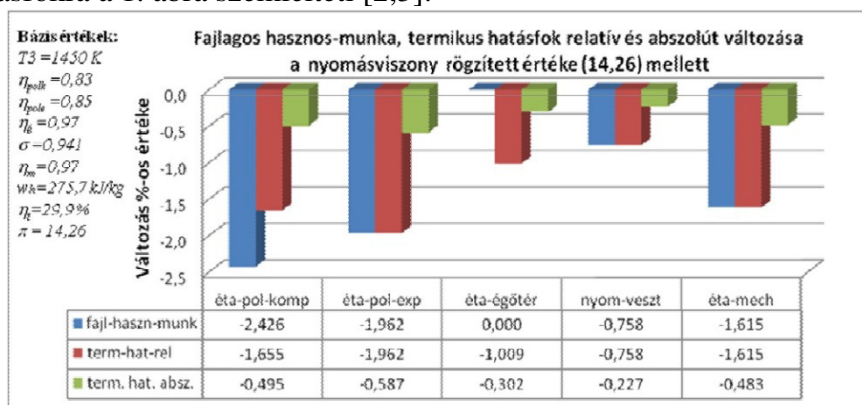
- Magas égési hatások
- Alacsony nyomásveszteség
- Széles stabilitási tartomány
- Megbízható gyújtás földön és levegőben egyaránt
- Megfelelő kilépő hőmérséklet eloszlás (pattern factor) a turbina élettartam növelés miatt
- Alacsony károsanyag kibocsátás
- Alacsony égészaj, és alacsony nyomás-pulzálás
- Egyszerű gyártás, és alacsony gyártási költség
- Egyszerű üzemeltetés
- Hosszú élettartam
- Hagyományos, szintetikus és bio üzemanyagokkal történő üzemeltethetőség

2. FOLYAMATOK AZ ÉGŐTÉR BEN

Az egész égés minőségét több részfolyamat befolyásolja, melyek mind az égőtérben játszódnak le. Ezek a részfolyamatok képezték vizsgálatom tárgyát, melyek a következők:

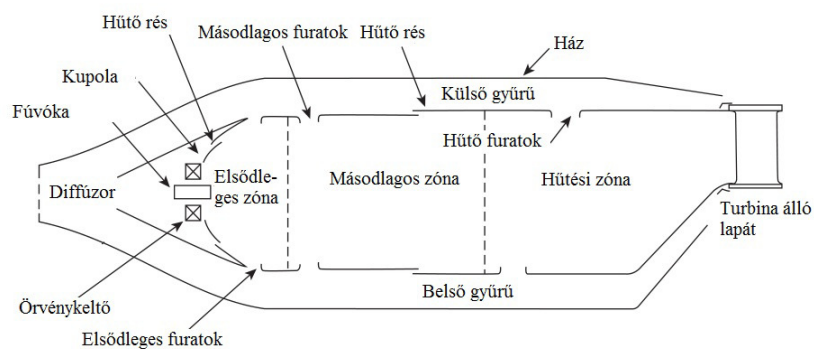
- A levegő axiális sebességének csökkentése diffúzor alkalmazásával
- A tüzelőanyag-levegő keveredése
- Lángstabilizálás
- Égési folyamat befejezése
- Visszahűtés

Az aerodinamika alapvető szerepet játszik az egész gázturbina működésében. És ez alól az égőtér sem kivétel, bár egyes tanulmányok kimutatták, hogy a kompresszor és a turbina vesztesége rontja leginkább az egész gázturbina össz-hatásfokát. Illetve a vizsgálatok rámutattak arra, hogy tulajdonképpen az égőtér nyomásvesztése – amelynek nagyobb hányada az aerodinamikai jellegű veszteség – nem olyan jelentősen rontják az egész gázturbina össz-hatásfokát. A gépegység veszteségek hatását a fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra a 1. ábra szemlélteti [2,3].



1. ábra A gépegység veszteségek hatása a fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra [2]

A levegő az égőtérbe lépve három külön áramra válik szét. A külső gyűrűben, és a belső gyűrűben körülbelül egyenlő mennyiségű levegő áramlik, ezt nevezzük külső áramnak, míg a levegő többi része a belső áramba lép be, ahol megtörténik a porlasztás, keveredés, és az égés. Zónákra kell osztani az égőteret, elsődleges égési zóna, másodlagos (átmeneti) égési zóna, illetve visszahűtési zóna. Ezek a zónák a belső áramban találhatók. A 2. ábra a különböző zónákat szemlélteti [1,3].

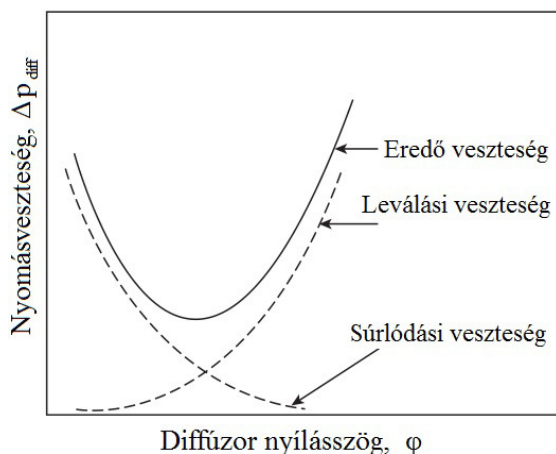


2. ábra Az égőtér fő szekciói

3. DIFFUZOR

A kompresszorból a levegő 150-200 m/s axiális sebességgel lép ki, amely túl magas érték az égés folyamatos fenntartásához, ezért a levegőt le kell lassítani 20-30 m/s sebességre a lángfúvás megakadályozása érdekében. A sűrűlési veszteség is túl nagy lenne, ha az égőtérbe lassítás nélkül vezetnénk a kompresszorból kilépő 150-200 m/s sebességű levegőt. Ezen okok miatt vissza kell lassítani a közeget, mielőtt az az égőtérrel eléri. Ezt diffúzor kialakításával valósítják meg. A diffúzor szerepe tehát elsősorban a levegő lelassítása, mielőtt az belépne az égőtérbe, illetve a sebességcsökkenésből adódóan a nyomás további növelése [1,3].

A diffúzorok kialakításánál sajnos nincsenek egzakt számítási módok, amelyekkel egyértelműen meg lehet adni a méreteket, ezért a mérnökök a különböző mérettel és alakkal rendelkező modelleken végzett kísérletek és vizsgálatok segítségével dolgozzák ki a diffúzorok végleges kialakítását. A mérések azt mutatták, hogy a diffúzorban két féle veszteség a mérvadó, az egyik a fali sűrűlésből származó veszteség, a másik pedig az áramlás leválásából származó veszteség, amelyet a 3. ábra szaggatott vonallal rajzolt görbéi szemléltetnek [1].

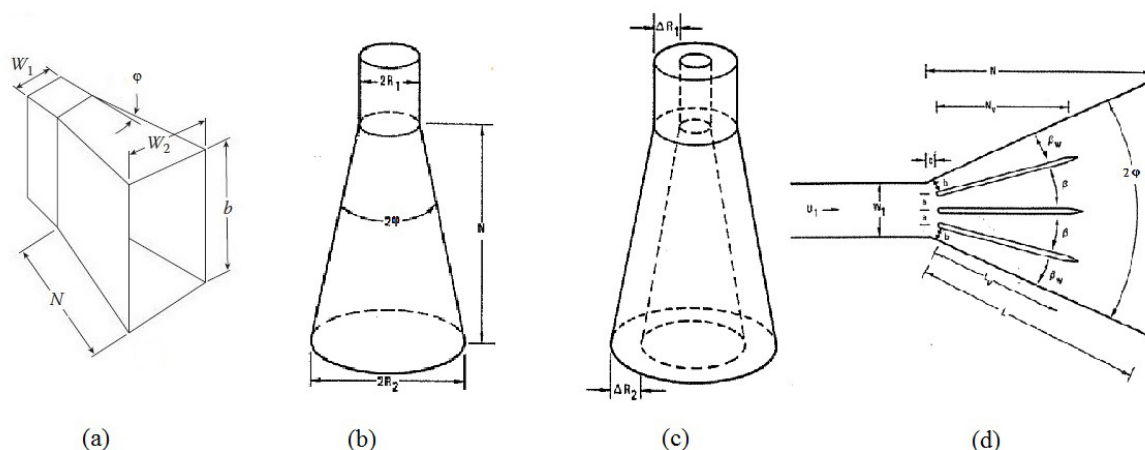


3. ábra A diffúzor veszteségeinek változása a nyílásszög függvényében [1]

Ha a diffúzor nyílásszöge nagyon kicsi, akkor leválásból származó veszteség nincs, ellenben a kis nyílásszög miatt a diffúzor hosszát kell megnövelni, amely a fali sűrűlés értékének növekedését vonja maga után. Ha a keresztmetszet bővülést rövid úton valósítjuk meg, akkor a diffúzor nyílásszöge lesz nagy, ebből az adódik, hogy fali sűrűlés gyakorlatilag elhanyagolható, ellenben a leválási veszteség nagyon nagy. Mindenképpen a két szélsőség közötti kompromisszumos megoldásra kell törekedni, ahol mindkét veszteség minimális, tehát a diffúzor hatásfoka maximális. A 3. ábrán a folytonos vonallal rajzolt görbe legalsó pontja [1].

Általában a következő diffúzor kialakításokat alkalmazzák:

- téglalap keresztmetszetű diffúzor (4.a ábra)
- kör keresztmetszetű diffúzor (kúpos) (4.b ábra)
- gyűrűs diffúzor (4.c ábra)
- lapátos diffúzor (4.d ábra)



4. ábra Leggyakoribb diffúzorfajták (a) téglalap keresztmetszetű; (b) kör keresztmetszetű; (c) gyűrűs; (d) lapátos [1,4]

4. ELSŐDLEGES ÉGÉSI ZÓNA

Az elsődleges égési zónában végbemenő folyamatok nagyban befolyásolja az egész égőtér működését, hatékonyságát, és a károsanyag kibocsátást. Ide lép be először a levegő és itt találkozik a tüzelőanyaggal is. A kompresszor és az égőtér között kialakított diffúzorban már lelassult a közeg, és ezzel a viszonylag kis axiális sebességgel lép be az égőtérbe, azaz az elsődleges égési zónába. A kis axiális sebességre egyrészt azért van szükség, hogy a nyomásvesztés alacsony szinten maradjon, másrészt, hogy a láng ne szakadjon le, ugyanis a gázturbinákban folyamatos az égés anélkül, hogy külső gyújtóforrást alkalmaznánk, kivétel ez alól az indítási folyamat. Ezért nagy hangsúlyt kell fektetni a láng stabilizálására, amelyet az elsődleges égési zónában kell megvalósítani [1,3].

Az elsődleges égési zónában mennek végbe a következő folyamatok:

- porlasztás
- beporlasztott tüzelőanyag megfelelő keverése a levegővel
- láng stabilizálása a visszaáramlási zóna kialakításával
- keverék égése

Tehát nagyon sok folyamat játszódik le rövid idő alatt, és relatív kis térfogatban. Nyilván a folyamatok összemosódnak, egymásra hatással vannak, ezért nagyon nehéz külön kezelni, és vizsgálni őket.

5. MÁSODLAGOS ÉGÉSI ZÓNA

Az elsődleges égési zónában a hőmérséklet 2000 K fölé növekszik, ezért a termikus disszociáció (kémiai elemek bomlása) hatására a szén-monoxid CO és hidrogénmolekula H_2 jelentős koncentrációja jelenik meg a kiáramló gázokban. Amennyiben a gázokat az elsődleges égési zónából egyből a visszahűtési zónába vezetnénk, akkor azok nagyon intenzíven és hirtelen hűlnének vissza a visszahűtési zónába bevezetett nagy mennyiségű hűtőlevegő miatt. Ebben az esetben a kiáramló gáz összetétele változatlan maradna, és a CO – amely egyrészt károsanyag, másrészt az elégtelen égés okozója – elégtelenül távozna az égőtérből. Amennyiben viszont az elsődleges égési zóna után csak mérsékelt mennyiségű hűtőlevegő vezetünk be, és csak kisebb mértékben csökkentjük a gáz hőmérsékletét egy

köztes értékre, akkor elősegítjük a korom kiégését és a gázban felhalmozódott CO illetve az elégetlen szénhidrogének UHC elégetését. Ezzel a folyamattal lehet az égőtérben történő klasszikus értelemben vett égést befejezni.

A korai égőtér kialakításoknál a másodlagos égési zóna kialakítása magától értetődő volt, de a kompresszor nyomásviszony emelkedésével egyre nagyobb mennyiségű levegőre volt szükség az égéshez illetve az égőtér fal hűtéséhez, ezért a másodlagos égési zónába juttatott levegő mennyisége csökkent.

1970-re a másodlagos égési zóna hagyományos formájában többé-kevésbé eltűnt, bár az igény megmaradt egy ilyen zóna kialakítására. Ezért a fejlesztések abba az irányba tartanak, hogy az égőtér fal hűtési technikákat módosítsák úgy, hogy nagyobb mennyiségű hűtőlevegő álljon rendelkezésre az égés folyamatának befejezéséhez.

A másodlagos égési zónába került bevezetésre a levegő közel 30 %-a a külső áramból különböző elhelyezésű, és méretű furatokon keresztül. Ebben a zónában figyelni kell, hogy a külső áramból bevezetett levegő pozíciója megfelelő legyen, és a mennyisége ne legyen túl nagy, mert lokálisan túlhűtheti a forró égéstermék, ami miatt a drasztikusan csökken a reakció sebesség ezek környezetében, amely az égési hatásokra van rossz hatással.

És ahogy már a fejezet elején említettem az intenzív visszahűtés – még ha ez csak lokális is – annyira visszafogja a reakciósebességet, hogy a tüzelőanyag bomlási folyamatát követően az égéstermékek részlegesen elégett állapotban maradnak, és az égőtér hátsó részében az uralkodó hőmérséklet nem éri már el azt a szintet, ahol az égés folyamata befejeződhetne. És miután a könnyebb szénhidrogéneknek – melyek az eredeti tüzelőanyag bomlása során jöttek létre (például metilgyök CH_3) – gyulladási hőmérséklete magasabb, mint az eredeti tüzelőanyagé, azok már nem képesek elégni, és így elkerülhetetlen a további még intenzívebb visszahűlés. Különösen igaz ez, ha az égőtér kamra kicsi, és a másodlagos levegő nem fokozatosan van bevezetve a furatokon keresztül. Ha valamilyen örvénykeltő technikát vagy eszközt használnak az égőtérben, akkor a másodlagos égési zónába bevezetett levegő jobban szétoszlik és elkeveredik az égő gázokkal, ezért az égési hatások javul, ellenben a nyomásvesztés növekszik a nagy turbulencia miatt [1,5].

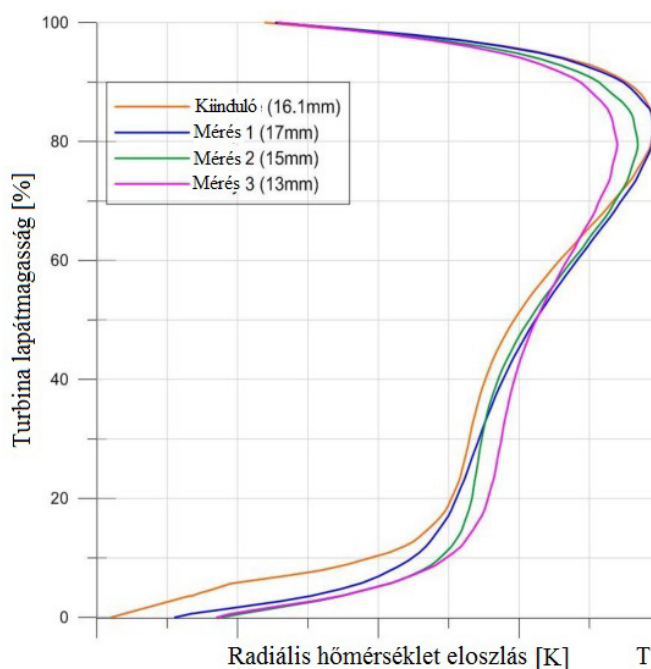
6. VISSZAHŰTÉSI ZÓNA

Az egyik feladata a visszahűtési zónának, hogy megfelelően ossza meg a külső áramban áramló levegőt az égőtér hátsó traktusában oly módon, hogy a megfelelő mennyiségű hűtőlevegőt engedjen be a belső áramba, de elegendő levegő maradjon az égőtér fal hűtésére is, ugyanis ez a két folyamat ellentétes hatású [1].

A második – legfontosabb – feladata a visszahűtési zónának az, hogy a magas hőmérsékletű égéstermék a turbina által elviselhető szintre hűtse vissza. A turbina forgólapátok ugyanis a nagy fordulatszám és magas hőmérséklet miatt óriási terhelésnek vannak kitéve. Az anyagtechnológia mai állása mellett nem lehet a forgó turbinalapátokat kitenni a tüzelőanyag égési vég hőmérsékletével (sztöchiometrikus égés esetén ez körülbelül 2600 K) megegyező hőmérsékletnek. Tehát az égőtér utolsó szekciójában meg kell oldani a közeg visszahűtését [3].

A visszahűtéshez rendelkezésre álló levegő mennyisége az eredeti mennyiség 20-30 %-a. Ezt a különböző pozíciójú, méretű és formájú furatokon keresztül vezetik be a belső áramba oly módon, hogy a furatokon beáramló levegősugarak optimálisan keveredjenek a belső árammal. Elméletben a jó keveredés minőség elérhető hosszú visszahűtési zóna használatával, vagy a nagy nyomásvesztési tényező tolerálásával. A gyakorlatban viszont a keveredés az égőtér elején nagyon jó, de egy bizonyos pont után hátrafelé haladva egyre rosszabb. Ezért fontos a

visszahűtési zónák hossz-átmérő aránya, amelynek egy szűk tartományon belül kell lennie, hogy ideális legyen a keveredés. Rendszerint ez az arány 1,5-1,8 értékek között van [1]. Nem utolsósorban pedig a visszahűtési zóna feladata biztosítani a megfelelő hőmérséklet-eloszlást az égőtér kilépő keresztmetszetében szintén a turbina védelme, élettartam növelése céljából. Ezt az eloszlást vizsgálni kell a kerület mentén, és radiális irányban is. A tangenciális irányú eloszlásnak teljesen homogénnek kell lennie, a hőfeszültségek és hőmérsékleti pulzálás elkerülése miatt. A radiális irányú eloszlásnak viszont olyannak kell lennie, hogy a lapáttőben és a lapátvégen legyen alacsonyabb a hőmérséklet, a lapát középső részénél pedig lehet magasabb, ahogy a 5. ábrán látható [1,6].



5. ábra A radiális hőmérséklet eloszlás értéke a turbina lapátmagasság változásával [6]

Az 5. ábrán látható vizsgálatban négy különböző átmérőjű hűtőfuratokkal ellátott visszahűtési zónát vizsgáltak. Az eloszlás akkor a legjobb, ha minél kisebbek a hőmérsékleti kiugrások. Tehát látható, hogy a legkisebb 13 mm átmérőjű furatokkal ellátott modellnél a legjobb az eloszlás [6].

7. NYOMÁSVESZTESÉG

Az égőtérben lejátszódó összetett folyamatok hatását megvizsgálva, szembesülnünk kell azzal, hogy az áramló, és felmelegedő közegben veszteségek lépnek fel. Ezek a veszteségek abban nyilvánulnak meg, hogy a fékezett nyomás értéke kisebb lesz az égőtér kilépő keresztmetszetében, mint a belépő keresztmetszetben.

Egy égőtér nyomásveszteségi tényezőjét a ki és belépő keresztmetszetben lévő lefékezett nyomások hányadosaként kapjuk meg:

$$\sigma_{\text{égőtér}} = \frac{p_2^*}{p_1^*} \quad (1)$$

ahol

- p_2 – lefékezett nyomás az égőtér belépő keresztmetszetében
- p_3 – lefékezett nyomás az égőtér kilépő keresztmetszetében
- $\sigma_{\text{égőtér}}$ – égőtér nyomásveszteségi tényezője

A modern hajtóműveknél ez az érték 95-97 % között van, a kialakítástól függően.

Az égőterekben a nyomásveszteséget két fő csoportra bontjuk:

- A hidraulikus veszteségek, vagy nevezik még hideg veszteségeknek (Ez arra utal, hogy a betüzelés nélküli, azaz hőmérsékletemelkedés nélküli veszteség), amely a közeg súrlódásából származik. A közegnek ugyanis van egyfajta belső súrlódása, amely a turbulens áramlásban, az örvényekben, és a keverési zónákban, a különböző sebességű és irányú rétegek között okoz veszteségeket. Ezen kívül az áramlás következtében az áramló közeg és az égőtér elemei között is keletkezik súrlódás (a tűzcső fala, lapátos örvénykeltő);
- A hőellenállás (meleg veszteség), amely a hőmérséklet növekedéssel arányos. Kialakulásának oka az, hogy az égőtérben lejátszódó égési folyamat nem izentrópikus, irreverzibilis folyamat. A betüzelés hatására hőmérsékletemelkedés jön létre, amely csökkenti a közeg sűrűségét, következésképpen növeli a közeg sebességét. Ha a sebesség nő, akkor az áramlás impulzusa is növekszik, de akkor meg kell jelennie egy nyomáskülönbségből származó erőnek ($\Delta p \cdot A$), mert az impulzus növekedés arányában fog a nyomás csökkenni [7,8].

8. ÉGÉSI HATÁSFOK

Az égőtér fő feladata a tüzelőanyagban lévő összes kémiai energia átadása a gázáramnak. A gyakorlatban ez nem teljesül maradéktalanul, mert például néhány tüzelőanyag molekula nem talál oxigént az égéshez az alatt a rövid idő alatt, ami rendelkezésre áll [1,3].

Magas égési hatásfok elérése érdekében a következőknek kell teljesülnie:

A tüzelőanyagnak és levegőnek álljon rendelkezésre megfelelő idő és tér a keveredéshez, és a reakció lezajlásához

A tüzelőanyag teljesen elpárologva keveredjen a levegővel az égés megkezdése előtt

Az alacsony égési hatásfok, azaz az égés tökéletlensége az üzemanyag pazarlását eredményezi, amely sok esetben a magas károsanyag kibocsátásban nyilvánul meg.

Az égési hatásfok a következő összefüggéssel fejezhető ki [1]:

$$\eta_{\text{égőtér}} = \frac{Q_{\text{valós}}}{Q_{\text{elméleti}}} = \frac{c_p \dot{m}_g (T_3 - T_2)}{\dot{m}_f F} \quad (2)$$

ahol

- $\eta_{\text{égőtér}}$ – égési hatásfok
- $Q_{\text{valós}}$ – valós hőfelszabadulás
- $Q_{\text{elméleti}}$ – elméleti hőfelszabadulás
- c_p – állandó nyomáson vett fajhő
- \dot{m}_g – gáz tömegárama
- \dot{m}_f – tüzelőanyag tömegárama
- F – tüzelőanyag fűtőértéke

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt évtizedekben a repülésben használt gázturbinás hajtóművek óriási fejlődésen mentek keresztül. Ez a fejlődés nem csak a teljesítmény növekedésében tükröződött vissza, hanem abban, hogy a gyártók egyre kifinomultabb megoldásainak köszönhetően a hatásfok javult, a fajlagos teljesítmény nőtt, a méretek csökkentek és a károsanyagkibocsátás is csökkent. Mindegyik tényező - de főként az utolsó - pozitív változására nagy hatást gyakorolt az égőtér fejlődése. Az égőtérben lejátszódó összes részfolyamatot finomítani, javítani tudták, beleértve a közeg lassítását, porlasztást, keveredést, égést és a visszahűtést. Ezen folyamatok vizsgálatát végeztem el ebben a dolgozatban annak érdekében, hogy mélyebb betekintést nyerjen az olvasó a gázturbinás hajtóműben lezajló égés lefolyásáról. Az elemzéseim érintenek fizikai illetve kémiai jelenségeket egyaránt, hiszen mindkettő befolyásolja az egész égőtér működését, hatásfokát és teljesítményét.

10. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ARTHUR H. LEFEBVRE, DILIP R. BALLAL:** *Gas Turbine Combustion, Alternative Fuels and Emissions*, Taylor and Francis Group, 2010
- [2] **VARGA BÉLA:** *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*, PhD értekezés, Budapest, 2013
- [3] **NICHOLAS CUMPSTY:** *Jet Propulsion*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003
- [4] **R.D.BLEVINS:** *Applied Fluid Dynamics Handbook*, New York, 1984.
- [5] **H. COHEN, G.F.C. ROGERS, H.I.H.SARAVANAMUTTOO:** *Gas Turbine Theory*, 4th Edition, Cornwall, 1996
- [6] **RANJITH P. V., M. SHIVASHANKAR, G. SIVARAMAKRISHNA, VIMALA NARAYANAN:** *Reduction of Gas Turbine Combustor Pattern Factors using CFD*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2014
- [7] **VARGA BÉLA, KAVAS LÁSZLÓ:** *Gázturbinás hajtóművek égőterei és nyomásvesztésük becslése*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK XXVIII. ÉVFOLYAM, 2017
- [8] **AHMED F. EL-SAYED:** *Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines*, CRC Press, 2008

AZ MNV2 MODUL ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA CSÁPOS KUTAK HIDRAULIKAI MODELLEZÉSÉRE

THE APPLICATION TESTING OF MNV2 MODULE, FOR HYDRAULIC MODELING OF HORIZONTAL COLLECTOR WELLS

NYIRI Gábor¹, SZÚCS Péter², ZÁKÁNYI Balázs³

¹PhD hallgató, hgnyg@uni-miskolc.hu

¹Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

²Egyetemi Tanár, hgszucs@uni-miskolc.hu

²Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem, MTA – ME Műszaki Földtudományi kutatócsoport

³Egyetemi adjunktus, hgz@uni-miskolc.hu

³Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: Magyarország ivóvízellátásában fontos szerepet játszanak a parti szűrésű vízbázisok. Ezen vízbázisokra támaszkodik a hazai vízellátás mintegy 35-40 %-ban, valamint távlati vízbázisaink 75 %-ban. Munkánk során a csápos kutak hidraulikai viszonyaival foglalkozunk. A Leo Ranney által kifejlesztett kúttípus manapság a parti szűrésű rendszerek fontos vízkivételi műve, mely a világ nagy folyói mentén megtalálhatóak. Célunk, hogy a Modflow programcsomag MNV2 moduljának alkalmasságát vizsgáljuk a csápos kutak hidraulikai modellezésére, független számítástechnikai eszközök segítségével. Célunk az MNV2 modul kaibrálása, melyet két független modellezési eljárás eredményéhez viszonyítunk. A kalibrálás szükséges lépés ahhoz, hogy a későbbiekben valós földtani környezet modellezésére is sor kerüljön.

Kulcsszavak: parti szűrés, véges differencia módszer, csápos kút

Abstract: The riverbank filtration systems are playing a major role in water supply of Hungary. The 35 -40 % of Hungary's water supply, and about 75 % of our perspective water sources relies on these riverbank filtrated water sources. In our work we deal with the seepage conditions of horizontal wells. Nowadays this well type, developed by Leo Ranney, is the most used water extract equipment for riverbank filtrated systems all over the world. Our aim is to testing the suitability of Modflow software package's MNV2 module, for hydraulic modeling of Ranney wells, with the help of calculation of independent softwares. At the end of this progress we would like to calibrate the MNV2 module, and for this we use independent calculation methods. The calibration is an important step to use this module in real geological environment in the future.

Key words: riverbank filtration system, finite difference method, Ranney well, horizontal well

1. BEVEZETÉS

Hazánk stratégiai vízügyi ágazata az ivóvízellátás, ahol kitüntetett szerepet kapnak a parti szűrésű vízbázisok. A parti szűrés jogszabályban foglalt definíciója a következő: felszíni víz közelében lévő felszín alatti vízbázis, melyben a vízkivételi művek által termelt víz utánpótlódása 50%-ot meghaladó mértékben a felszíni vízből történő beszívárgásból származik [1]. Az országos ivóvízellátás mintegy 35 - 40%-a parti szűrésű vízbázisból származik. Ma Magyarországon a lakosság 40%-a; közel négymillió ember napi vízigényét fedezi parti szűrésű vízbázisokból. Távlati ivóvízbázisaink 75%-a parti szűrésű, vagyis a jövőbeli vízkészlet-gazdálkodásban is óriási szerepet játszanak [5].

Ezen vízbázisok fő vízkivételi műtárgya a kút, illetve a kutak egy speciális típusa a csápos kút. Ezen kúttípusra jellemző, hogy egy függőleges aknából úgynevezett csápokot hajtanak ki,

vízszintes, vagy közel vízszintes irányban. Előnyük, hogy egy kút segítségével a hasznos szűrőfelület megnövekszik, ezáltal nagyobb hozamot lehet elérni.

Munkánk során ezen csápos kutak szivárgáshidraulikai viszonyaival foglalkozunk. Célunk, hogy a MODFLOW MNV2 modulját kalibráljuk független szoftverek segítségével, és ezáltal meggyőződünk a modul használhatóságáról, illetve használati korlátairól.

2. CSÁPOS KUTAK

A csápos kutak feltalálója Leo Ranney, aki ezen kúttípusokat sekély mélységű olajtárolók termeltetésére alkalmazta [6]. Első alkalmazására 1927-ben Texas államban került sor. Hamar kiderült azonban, hogy ezen kúttípusok, nem csak az olajtermelésben hasznosíthatóak, hanem a folyók menti kavicssteraszok megcsapolására is alkalmasak. Első vízügyi alkalmazása 1933-ban Londonban történt [4].

Magyarországi alkalmazása a Duna felső szakaszán jellemző, Budapest vízellátását nagyrészt ezen kutak által termelt vízből biztosítják (1., 2. ábra).



1. ábra Csáposkút sor a Duna mentén

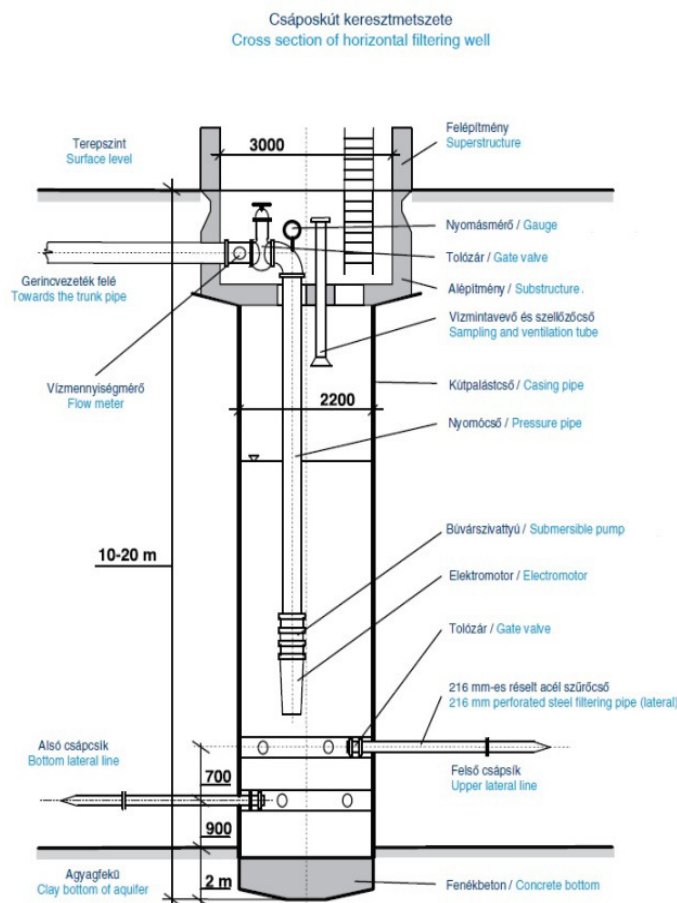
Előnyük a függőleges kutakkal szemben, hogy vékony vízadók esetében a szűrők vízszintes elhelyezésével megnövekedik a hasznos szűrőfelület, ezáltal nagyobb hozamot érhetünk el egy kút telepítésével.

A kútkialakítás menete a következő:

- kútnakna süllyesztése,
- csápok kihajtása,
- tisztító szivattyúzás.

A csápok kihajtása többféle módon történhet:

- Ranney módszer, melynek alapja, hogy a közetet víznyomással fellazítják, és a szűrő behelyezése sajtolással történik.
- A Fehlmann módszer esetében először egy béléscsővet helyeznek el a vízadóban, majd később kerül bele a szűrőcső a béléscső visszahúzásával.
- A Preussag módszer a Fehlmann módszer továbbfejlesztett változata, ugyanis az eredeti formáció, és a szűrőcső közé egy kavics szűrőréteget helyeznek el [2].



2. ábra A Duna-kút Kft. által kivitelezett csápos kút típus (forrás: Duna-Kút Kft.)

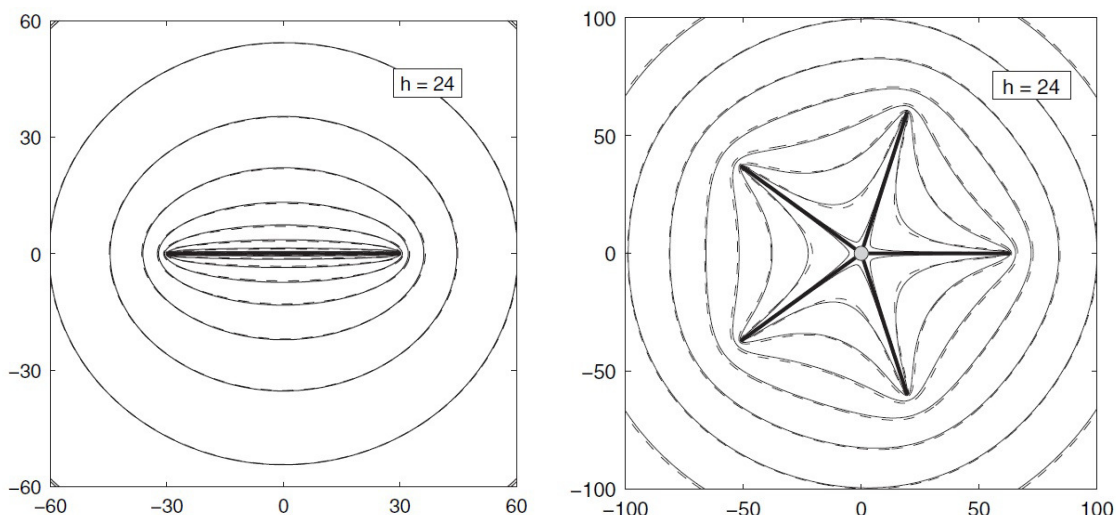
3. A MODELL FELÉPÍTÉSE, ÉS A KALIBRÁCIÓ MENETE

A modellezéshez a Groundwater Modeling System 10.1-es verzióját alkalmaztuk, melyben a Modflow programcsomag megtalálható. A Modflow szoftver egyik modulja a Multi Node Well 2 (MNV2), mely egy olyan véges differencia módszert alkalmazó program amely egyaránt alkalmas több szinten szűrőzött kutak, horizontálisan elhelyezett, valamint ferdén fúrt kutak szivárgási viszonyainak szimulálására.

A modellezés során a következő fő paramétereket kellett megadnunk a csápokra vonatkozóan:

- csápok mélysége,
- csápok átmérője,
- csápok hossza,
- csápokra vonatkozó szivárgási veszteség számítási módját (Thiem, Skin, General).

A kalibráció alapja Bakker, és szerzőtársai, valamint Dr. Székely Ferenc munkája alapján történt. A szerzők két kúttípust vizsgáltak: egy vonalban elhelyezett, valamint egy ötágú csápos kút (3. ábra). Bakker és szerzőtársai az analitikus elemek módszerét alkalmazta egy 3D-s verzióban, valamint egy többretegű esetben, míg Dr. Székely Ferenc az általa kifejlesztett COLWELL szoftvert használta, mely fél analitikus módszert alkalmaz [6]. A kutak, és a földtani környezet modellezéshez szükséges paramétereit az 1. táblázat tartalmazza. A peremfeltételeket tekintve minden esetben fix peremeket alkalmaztunk. A modell vastagságnak megfelelő kezdeti vízszinttel (24 m).



3. ábra Egy vonalban elhelyezett, és ötágú csápos kút [3]

1. táblázat: A modellre vonatkozó fontosabb adatok

	Csápok egy vonalban	Ötágú csápos kút
Szivárgási tényező (m/d)	150	150
Modell vastagsága (m)	24	24
Csápok mélysége (m)	21	21
Csápos kút hozama (m ³ /d)	12 000	60 000
Csáphossz (m)	30	60
Csápok belső sugara (m)	0,15	0,15

Elsődleges célunk az, hogy meghatározott pontokon a megfelelő modellezési körülmények megválasztásával közelítőleg hasonló vízszinteket kapjunk az MNV2 segítségével, mely bizonyítja majd az MNV2 modul alkalmasságát. A modellezés során körvonal menti utánpótlódást szimuláltunk, vagyis a kúthoz csak oldalsó irányból áramlik víz, nincs csapadék, illetve folyó hatás. A kalibrációhoz a következő adatokat használtuk:

- a kút közepétől számított 100 m távolságban lévő vízszint,
- vízszint a legfelső rétegben (x=0; y=0 helyen),
- vízszint a csápok mélységében (x=0; y=0 helyen).

A modell felépítése után lefuttattuk a programot, majd a fent említett vízszinteket megvizsgáltuk. Elsőként a kút közepétől számított 100 m távolságban lévő vízszint vizsgálata történt meg (ezt tekintik a már említett szerzők a tápterület határának). Amennyiben a vízszint nem 24 méternek adódott, a fix peremek vízszintjeit a különbséggel növeltük, így elérve azt, hogy 100 m távolságban a vízszint 24 m legyen, és így összehasonlítható legyen a fent említett szerzők modellezésével. Mindezek után a modell közepén (x=0; y=0 helyen) történő vízszintek vizsgálata történt meg. Amennyiben nem adtak két tizedesig azonos értéket

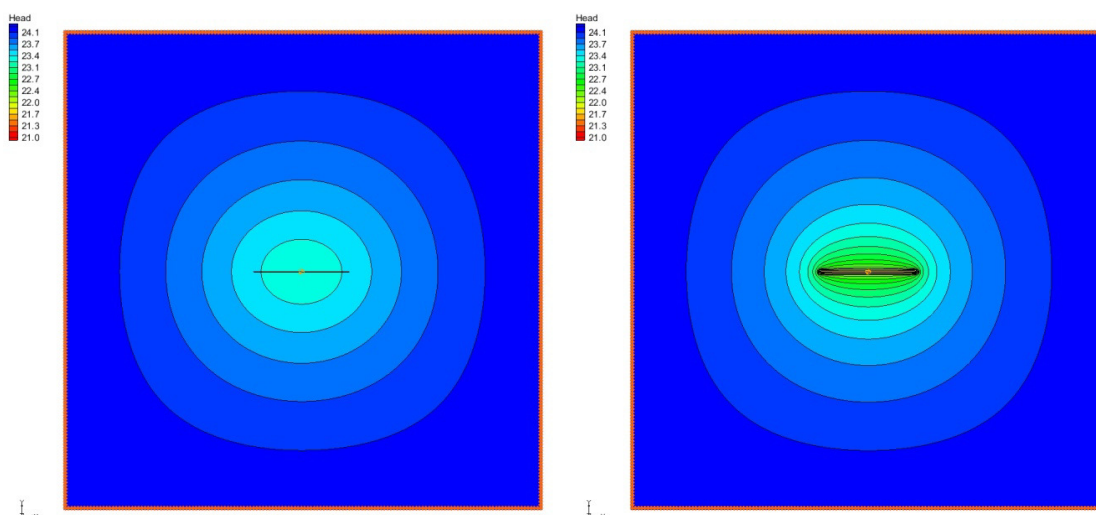
a Bakker és szerzőtársai által, valamint Székely Ferenc eredményeivel, a modellt pontosítottuk. A pontosítás eszközei a következők:

- rétegek számának növelése,
- rácsháló osztásközeinek sűrítése,
- modell területének növelése,
- skin hatás figyelembe vétele.

Amint a módszerek egyikével változtattuk a modellt, újból megvizsgáltuk a már említett vízszinteket, és újból végeztük a kalibrálást. A megfelelő pontosságot jelenleg még nem sikerült elérnünk, tehát egy folyamatban lévő munkáról beszélhetünk.

4. EDDIG ELÉRT EREDMÉNYEK

Mindkét csápos kút típusnál törekedtünk arra, hogy a lehető legjobban közelítsük a vízszinteket. Az eddig elért eredményeket az alábbiakban közöljük: Az egy irányban létesített csápos kút, valamint az ötágú csápos kút esetében is elmondható, hogy a modellezési körülményeket eddig a rácsháló sűrítéssel, valamint a rétegek számának növelésével módosítottuk, tehát eddig nem használtunk ki minden változtatási lehetőséget. Mindezek ellenére elmondható, hogy közelítünk a jó megoldás felé.



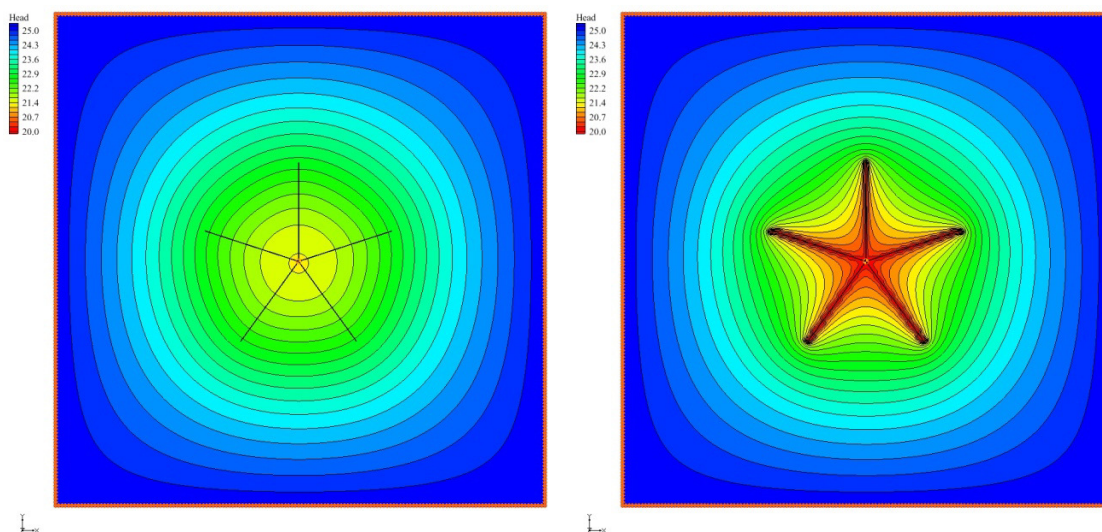
4. ábra Vízszintek az első rétegben, valamint a csáp mélységében (egy vonalban létesített csápok)

Az egyirányban létesített csáp esetén a 4. ábra mutatja a kialakult vízszinteket az első rétegben, valamint a csáp mélységében, a legjobb közelítés viszonylatában. A számszerűsített összehasonlítást a 2. táblázat mutatja. Az AEM, illetve a 3D AEM rövidítések a Bakker és szerzőtársainak eredményeire utalnak, míg a COLWELL a Dr. Székely Ferenc által kifejlesztett program eredményeit mutatja.

2. táblázat Vízszintek összehasonlítása (egy vonalban létesített csápok)

	MNV2	AEM	3D AEM	COLWELL
Vízszint az első rétegben (m)	23,289	23,42	23,43	23,43
Vízszint a csápban (m)	21,649	23,34	22,41	22,39

A 2. táblázatban szereplő vízszinteket látva elmondható, hogy a legfelső rétegben lévő vízszintek jobban közelítik a kívánt értékeket, míg a csáp mélységében lévő vízszintek nagyobb eltérést mutatnak. A nagyobb eltérés oka lehet a skin hatás figyelmen kívül hagyása, melynek megállapítása további vizsgálatokat igényel.



5. ábra Vízszintek a legfelső rétegben, valamint a csáp mélységében (ötágú csáposkút)

Az 5. ábra mutatja az ötágú csápos kút esetében kialakuló vízszinteket a legfelső rétegben, valamint a csáp mélységében. A számszerűsített értékek a 3. táblázatban láthatóak.

3. táblázat Vízszintek összehasonlítása (ötágú csápos kút)

	MNV2	AEM	3D AEM	COLWELL
Vízszint az első rétegben (m)	21,5	21,44	21,46	21,45
Vízszint a csápban (m)	20,09	20,74	20,82	20,78

Az 5. ábrán lévő vízszint eloszlásról elmondható, hogy a csáp mélységében az úgynevezett pókhálós forma jól kirajzolódik, míg a legfelső rétegben ez már elkenet jelentkezik. A vízszintek összehasonlításánál ugyanaz figyelhető meg, mint az egy irányban létesített csáposkútnál, miszerint a felsőbb rétegben jobban sikerült közelíteni a vízszintet mint a csáp mélységében, feltehetően ugyanazon okokra visszavezethetően.

Mindezen eltérések tudatában a modellek pontosítása még nem ért véget, a többi pontosításhoz eszközzel kívánjuk bemutatni a későbbiekben az MNV2 modul alkalmasságát.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a parti szűrészű vízbázisok egyik kiemelt vízkivételi művével, a csápos kutakkal foglalkoztunk. Hidraulikai modellezést végeztünk két csápos kút típusra, egyik esetben egy egyenes vonalban létesített csápos kútra, másik esetben egy ötágú csápos kútra vonatkozóan. Előzetes független vizsgálatokkal vetettük össze a modellezési eredményeinket, és célunk az, hogy az MNV2 modul alkalmasságát bebizonyítsuk, és megállapítsuk, hogy milyen feltételek

mellett alkalmazható ezen program. A kalibrálás során három helyen lévő vízszintet vettünk figyelembe, és ehhez viszonyítottuk a kapott eredményeinket. Megállapítottuk, hogy a modellek legfelső rétegében pontosabb eredményeket kaptunk mint a csáp mélységében lévő rétegekben. Mindezek fényében megállapítottuk, hogy a modellezési eredmények még pontosításra szorulnak, és további vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy eredeti, valós földtani környezetben lévő csápos kutak hidraulikai viszonyait modellezzük.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet** a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási művek védelméről
- [2] **BABAC D., BABAC P.:** *Wells with horizontal drains, Theory, practice, calculation examples*, Belgrade 2009.
- [3] **BAKKER M., KELSON V. A., LUTHER H. K.:** *Multilayer analytic element modeling of radial collector wells*, *Ground Water*, 43 no: 6 pp. 926-934, 2005.
- [4] **CHITTARANJAN G., MELIN G., LINSKY R. B.:** *Riverbank filtration, improving source - water quality 2002*, ISBN 1-4020-1133-4
- [5] **KÁRMÁN K.:** *A parti szűrős vízbázisok, és jelentőségük*, Magyar Tudomány, 2013
- [6] **SZÉKELY F.:** *Hidrogeológiai határok, kúttrendszerek, és csápos kutak analitikus modellezése, Kúthidraulikai modellezés és adatelemzés előadás*, Eötvös Lóránd Tudományegyetem, 2011.

MENEDZSMENT SZEREPE A DE-MK TEAM ALTERNATÍV HAJTÁSÚ JÁRMŰÉPÍTÉSÉBEN

THE ROLE OF MANAGEMENT IN THE DE-MK TEAM IN ALTERNATIVE POWERED VEHICLE CONSTRUCTION

PAJKOS Dorottya¹, KABAI Dóra²

¹műszaki menedzser hallgató, dorka.pajkos@gmail.com

¹ Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem

² műszaki menedzser hallgató, kabaidorka@gmail.com

²Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: A londoni Shell-Eco marathon energiahatékonysági versenyen 2016-ban indult először csapatunk, a DE-MK Team. Idén előző évi járművünk fejlesztésével ismét indultunk a rangos megmérettetésen. A tavalyi évhez képest nagy változást jelentett a menedzsment alkalmazása mind a felkészülés, mind a verseny során. A publikáció bemutatja, hogy a menedzsment különböző területeit hogyan alkalmaztuk, s ez miként segítette a csapat hatékonyabb munkavégzését.

Kulcsszavak: menedzsment, alternatív meghajtás, Shell Eco-marathon

Abstract: Our team, the DE-MK team participated in the London-based Shell-Eco Marathon Energy Efficiency Competition in 2016 for the first time. This year, with the development of our previous vehicle, we participated again in this prestigious competition. Compared to last year, the application of management was a major change in both preparation and competition. The publication shows how we applied different areas of management and how it helped to make the team more efficient.

Keywords: management, alternative propulsion, Shell Eco-marathon

1. VERSENY ÉS CSAPAT BEMUTATÁSA

A Shell Eco-marathon különböző kontinenseken megrendezett energiahatékonysági verseny, melynek európai állomásán vettünk részt Londonban, 2017. május 25-28. között.

A versenyen a járművek 2 kategóriában indulhatnak (1.ábra): urban concept (városi jármű kategória, amelynek városi közlekedésre alkalmas felszereltséggel kell rendelkeznie), illetve a prototype (egyedi tervezésű autó, melynek kialakításánál a fő szempont az energiahatékonyság, nem pedig a hétköznapi életben való használat). Az autók energiaforrása lehet benzin, dízel, hidrogén, CNG, elektromos energia. Mi prototípus kategórián belül elektromos meghajtást választottunk járművünk, Hunor megépítésénél. [1, 3]



a) urban concept



b) prototype

1. ábra. Jármű típusok

A DE MK Team 2016-ban vett elsőnek részt a versenyen 12 személlyel. [2, 4] Idén a csapat kibővült, így 15 hallgatóból (gépészmérnök, mechatronikai mérnök, építőmérnök és műszaki menedzser), illetve 3 fő mentoroktatóból állt (2. ábra). Mi is idén csatlakoztunk a csapathoz, hogy a menedzsment alkalmazásával szerevezettebbé tegyük az irányítást, szervezést. Az idei csapat kialakításánál törekedtünk arra, hogy különböző feladatkörrel rendelkező teamekből álljon a csapat (burkolat, menedzsment, elektronika, hajtástechnika). Mivel mi láttuk el a csapat menedzselését, így idén a járműépítőknek nem kellett foglalkoznia a szponzorációval, marketinggel, utazásszervezéssel. Ennek következtében a csapattagoknak így csak a saját foglalkozási körének megfelelő munkát kellett végeznie.



2. ábra. A londoni csapat

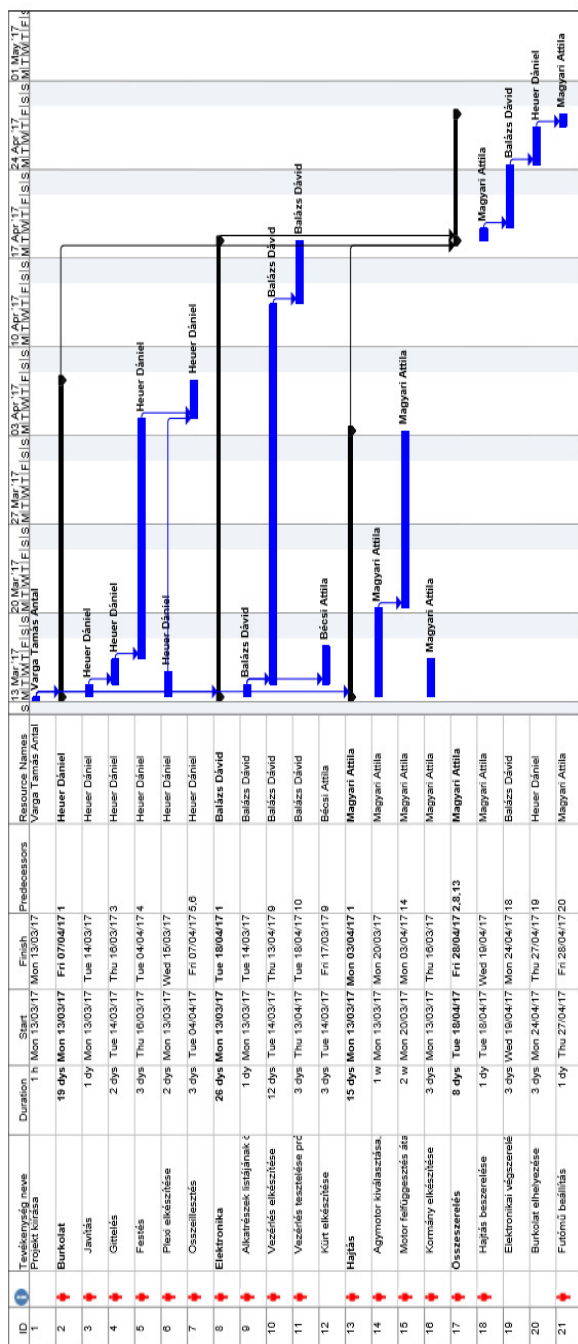
2. PROJEKTMENEDZSMENT

A versenyre való felkészülést egy projektnek lehet tekinteni, melynek célja, hogy a Shell Eco-marathonon részt tudjunk venni. A projekt legkésőbbi elkészülési határideje 2017. május 25-e volt, ameddig az autónak készen kellett állnia a megmérettetésre. A versenynek egy adott 1,2 millió Ft körüli bekerülési költsége volt, ez tartalmazta a jármű fejlesztését és kiszállítását, valamint a csapat kiutazását.

Ezt követően a MS Project program segítségével létrehoztunk egy időtervet. Erre azért volt szükségünk, hogy szem előtt tarthassuk az elvégzendő feladatokat, és ne csússzunk ki a rendelkezésre álló időből. Az időterv létrehozása során meghatároztuk az elvégzendő feladatokat az elvégzésükhöz szükséges idővel együtt. Ilyen feladat volt: a jármű mechanikai felkészítése, elektronikai vezérlés elkészítése, illetve a burkolat felújítása esztétikusság és jobb megjelenés céljából. Ez a 3 fő tevékenység egymással párhuzamos ütemben haladt, az egyes feladatkörhöz tartozó altevékenységeket pedig egymástól függővé tettük. Azaz megszabtuk elkészülési határidejüket, s csak ezt követően tudták a következő lépést végezni.

A MS Project segítségével a bevitt adatok alapján létre tudtuk hozni egy Gantt diagramot (3. ábra), amelyen szemléletesen láthatóak az építési folyamatok. Minden tevékenységi

körhöz kijelöltünk egy adott felelőst a régi csapatból - mivel ők már tapasztaltabbak, tudják, hogy egy ilyen verseny hogyan zajlik -, aki felelt az elvégzendő munka kivitelezéséért és ellenőrzéséért. A határidők betartásával tudtuk garantálni, hogy a jármű a megadott határidőre elkészüljön. Ezek betartása elengedhetetlen volt azért, hogy a tavalyi évek tapasztalatából a jármű ne az utolsó pillanatra készüljön el, hanem legyen idő a tesztelésre is, amely igazán fontos az optimális paraméterek beállítása végett.



3. ábra. Gantt diagram

3. CSAPATSZERVEZÉS

Miután megtörtént a fejlesztési feladatok meghatározása, toborzás volt szükséges, amely jelenleg ismeretségi alapon történt. Ezt követően felmértük a csapattagok készségeit, hogy ki mihez ért a legjobban, majd beosztottuk őket tevékenységi körükhöz tartozó felelőseikhez.

Figyelembe véve, hogy a projektet egyetemi tanulmányaink mellett csináljuk, úgy alakítottuk ki az időtervet (3. ábra), hogy az mindenkinek minél megfelelőbb legyen. Így kivettük a rajzhetet, illetve az azt megelőző hetet, hogy nyugodtan készülhessünk a zárhelyi dolgozatokra, valamint az ünnepnapokat és hétvégéket is szabadnak hagytuk. Próbáltunk arra is figyelni, hogy amennyiben lehetséges mindenkinek azonos legyen a terheltsége.

Megszabott időközönként közös csapatmegbeszéléseket tartottunk, annak érdekében, hogy mindenki tisztában legyen a fejleményekkel, a másik munkájával, valamint a további teendőket megbeszéljük.

4. VERSENYSZERVEZÉS

A versenyen való részvételhez a csapatot be kellett regisztrálni, melynek több ellenőrző fázisa volt, különböző határidőkkel. Az elsőben meg kellett adni, hogy melyik csapat honnan, melyik intézményből érkezik, és milyen kategóriában szeretne részt venni a versenyen. Amennyiben ezen a fázison átjutott a csapat, a technikai információkat kellett megadni a szervezőknek: itt egy komplex tervdokumentációt kellett leadni, amely tartalmazta a jármű kialakítását, elektronikai kapcsolását, illetve dizájnját. A szervezők azt mérik fel ezzel, hogy a csapatok jól értelmezték-e a szabályzatot és ennek megfelelően alakították-e ki az autót. A 3. fázisban a logisztikai információkat kellett megadni: mely csapattagok vesznek részt a versenyen és a jármű milyen módon kerül kiszállításra. Az utolsó fázisban a versenypályán kívüli különböző díjakra lehetett nevezni, pl.: legjobb dizájn, legjobb kommunikáció, legjobb technikai innováció és legbiztonságosabb csapat díjak.

5. SZPONZORÁCIÓ

Miután felmértük a projekt során felmerülő lehetséges költségeket, elkezdtünk szponzorokat keresni. Elsőnek a helyi és környékbeli cégeket kerestük fel támogatás céljából. A támogatás mértékét 3 kategóriába soroltuk (arany, ezüst, bronz), melynek függvényében készítettük el az autóra a matricákat. A szponzorok segítségével több, mint 1 millió forintot sikerült gyűjtenünk, mely fedezte az összes költséget.

6. KÖLTSÉGVETÉS

A projekt költségeit 3 nagy kategóriába sorolhatjuk. Egyik része a jármű fejlesztése, második a csapat kiutaztatása és végül az autó kiszállítása. Itt külön meg kell jegyezni, hogy a járműre fordított összeg nem olyan magas, ez annak köszönhető, hogy az autón kisebb fejlesztéseket kellett végezni, továbbá számos cég nem anyagi támogatást nyújtott, hanem különböző munkákat végzett el számunkra térítésmentesen. A csapat nagy része repülővel utazott ki, míg a felszereléseink és a járművünk kisteherautóval került kiszállításra. Ehhez autót kellett bérelni, autópálya matricát venni, kompot és szállást foglalni a sofőrök számára.

7. MARKETING TEVÉKENYSÉGEK

A versennyel kapcsolatban számos média megjelenésünk volt online sajtóban, újságban, tv-ben. A kiutazás előtt pár nappal egy sajtótájékoztatót tartottunk az egyetemen, amelyen bemutattuk a sajtó képviselőinek és az érdeklődőknek járművünket. Ezenkívül a csapat számos rendezvényen szokott megjeleni, ahol kiállítjuk Hunort, pl.: kutatók éjszakáján, különböző céges rendezvényeken, valamint a Hungaroringen a Német Túraautó bajnokságon is már bemutatásra került. A hivatalos Facebook oldalunkon folyamatosan megjelentettük a projekttel kapcsolatos eseményeket, híreket, így mindenki azonnal értesülhetett a legfrissebb fejleményekről.

8. EREDMÉNYEK

A versenyen 28 ország 178 csapata vett részt. A DE MK Team Prototype Battery Electric kategóriában a tavalyi eredménnyel javítva 29. helyezést ért el 92 km/kWh teljesítménnyel. Ez azt jelenti, hogy 1 kWh árammal (ami kb. 45 Ft-nak felel meg) 92 km megtételére képes az autó. A projekt lezártnak tekinthető, hiszen a versenyt a szabályoknak megfelelően sikeresen teljesítettük és a csapat teljes egészében hazaért.

9. JÖVŐBELI TERVEINK

A verseny során még több ötletet, tapasztalatot gyűjthettünk, ezáltal megfogalmazódott bennünk egy új autó gondolata is, így jövőre lehet, hogy már a városi koncepció kategóriában fogunk indulni. A csapat a nyár folyamán nekilát a tervezésnek, mivel teljesen új járműről van szó, sokkal magasabb költségvetéssel kell számolnunk, így a szponzorok keresése kiemelten fontos tevékenység lesz. A kivitelezési munkákat pedig legkésőbb szeptemberben el kell kezdeni, hogy időben készen álljon az autó a tesztelésre, versenyre.

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünk bemutatta, hogyan zajlottak a DE-MK Team előkészületei menedzsment szempontjából a 2017-es Shell Eco-marathon európai versenyre, s ez hogyan hatott eredményünkre, jövőbeli terveinkre. 28 ország 178 induló csapata közül a 29. helyen, 92 km/kWh teljesítménnyel zártunk, ezzel javítva tavalyi eredményünkön. A tavalyi évhez képest jóval szervezettebb, átgondoltabb csapatmunka lehetővé teszi, hogy jövőre a terveink közt szereplő urban concept járművel indulhassunk a rangos eseményen.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Nagy köszönettel tartozunk szponzorainknak (4. ábra), akik támogatása nélkül nem valósulhatott volna meg a jármű fejlesztése, segítségük lehetőséget biztosított a csapat számára egy újabb sikeres versenyrésztételhez.



4. ábra. Szponzoraink

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GÁBORA, A.; MAGYARI, A.; ZILAH, K. L.; LOVADI, GY. D.; VARGA, T. A.; SIPOS, K. B.:** *Elektromos járművek tervezése és építése. Múlt és jövő*, A XXI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak Előadásai, EME kiadó, Kolozsvár, 2016
- [2] **GÁBORA, A.; MAGYARI, A.; ZILAH, K. L.; LOVADI, GY. D.; VARGA, T. A.; SIPOS, K. B.:** *Prototípus elektromos tanulmányautó fejlesztése a Shell Eco-marathon® versenyre*, A XXI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak Előadásai, EME kiadó, Kolozsvár, 2016
- [3] **SZIKI, G. Á.; SARVAJCS, K.; KISS, J.; GÁL, T.; SZÁNTÓ, A.; GÁBORA, A.; HUSI, G.:** *Experimental investigation of a series wound DC motor for modeling purpose in electric vehicles and mechatronics systems*, Measurement, 2017
- [4] **GÁBORA, A.; MAGYARI, A.; VARGA, T. A.; BALÁZS, D.; LEMPERGER, L.; IGÁZ, T.; DIÓSI, I.; VESZELSZKI, K. J.; SIMON, A.; JAKABÓCZKI, G.; NÉMETH, A. B.; KOVÁCS, V. I.; LOVADI, GY. D.; ZILAH, K. L.; SIPOS, K. B.:** *Prototype battery electric car development for Shell Eco-Marathon competition*, ISCAME, Debrecen, 2016

A DRÓNOK RAJOKBAN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSA

PRACTICAL USE OF DRONE SWARMS

PÁNYA Nándor

hallgató, pnand94@hotmail.com

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Fedélzeti Rendszerek Tanszék, H-5008, Szolnok, Killián út. 1.

Kivonat: A pilóta nélküli légi járművek (UAV) fedélzeti rendszereinek fejlődésével egyre több feladatot képesek önállóan, autonóm módon végrehajtani. Kutatók különálló eszközök összekapcsolásán, és azok rendszerben, azaz rajban történő működtetésén dolgoznak. A cikk ezen rendszerek közül mutat be néhányat, szemlélteti azok gyakorlati hasznát főleg katonai műveletekben.

Kulcsszavak: drón, UAV, autonómia, swarm technology, raj harcászat

Abstract: With the development of the unmanned aerial vehicles' onboard systems, their ability to operate independently or autonomously increases. Scientists are working on connecting these equipment's into a system and operating them in a swarm. The article presents some of these methods and shows their practical use, mainly in military operations.

Keywords: drone, UAV, autonomy, swarm technology, swarm warfare

1. BEVEZETÉS

Automata szerkezetek, amelyek csak egy funkciót tudnak ellátni és azt is csak emberi támogatással, mint például egy mosógép vagy egy futószalagon dolgozó gépkar egyáltalán nem rendelkeznek autonómiával. Egy feladat elvégzésére képesek, adott feltételek között. Az autonómiához szükség van automatikára, de emellett az eszköznek képesnek kell kreatív döntéseket hozni, és a tapasztalatait feldolgozva tanulni. „A ma drónjai, a bombákat hatástalanító robotoktól a mini tengeralattjáróig, a hajófedélzetről indítható felderítő helikopterektől a nagy magasságban tevékenykedő precíziós támadásokat végrehajtó légi eszközökig a legtöbb esetben a feladatuk végrehajtása, illetve a feladatra történő felkészítésük (mérnökök, illetve szakemberek által végzett tevékenység) során is igényelnek emberi beavatkozást. Továbbra is szükséges az emberi felügyelet a teljes küldetés ideje alatt, és fokozottan igaz ez a célok kijelölésére.”[7] A jövőben lehetnek majd olyan drónok, amelyek önállóan képesek lesznek megtalálni és harcképtelenné tenni bármilyen célpontot emberi beavatkozás nélkül. A legtöbb rendszer azonban a két véglet közé fog esni.

A mesterséges intelligenciák, robotok, automatizált, akár autonóm eszközök, fegyverrendszerek megjelenését tényként kell kezelniünk a jövő háborúiban, vagyis a jelenkor biztonsági környezetével kapcsolatosan átfogó értelemben nem felejthetjük meg képességeikről, alkalmazhatóságukról. [6]

A napjainkban létező rendszerek egy drónt képesek irányítani, és azt is minimális autonómiával. Az autonómia magasabb szintjein már több jármű egyidejű működéséről van szó, eleinte úgy, hogy az eszközök különböző szenzorokkal [8] vannak felszerelve, és együttes munkájukhoz szükség van az összeköttetésre. De a teljes autonómiánál már homogén rajokról beszélünk, itt egy drón önállóan is tudna dolgozni, de a közös munka hatékonyabbá teszi a feladat-végrehajtást. A cikk bemutatja hogy a jelen tudósai hogyan is képzelik el a jövő drón harcászatát.

2. A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐ ESZKÖZÖK AUTONÓMIÁJA

A Légi Erő Kutató Intézete (AFRL - Air Force Research Lab) elkészítette saját 11 lépcsős beosztását, amibe a rendszereket a felderítő-, adatfeldolgozó-, döntéshozó- és cselekvőképességük alapján értékelték. Emellett az AFRL beosztásában azt is figyelembe vették, hogy vannak olyan helyzetek, ahol egy kezelő több járművet kezel egyszerre, így a többgépes rendszerek autonómiáját is figyelembe veszi.

Habár az Egyesült Államok harci drónjai mutatnak autonóm és automatikus tulajdonságokat is, elsősorban automata rendszerek. A Global Hawk felderítő repülőgép képes fel-, és leszállni közvetlen emberi beavatkozás nélkül, a kezelőnek csak az indító gombot kell megnyomnia. Azonban hiányzik az a képessége, hogy önállóan irányítsa a kameráit olyan célpontokra, amelyek katonai szempontból fontosabbak lehetnek. A Predator és a Reaper három repülési móddal rendelkezik, amelyeket a kezelő választ ki: manuális repülés (távírányítás), fél-autonóm megfigyelt repülés, és előre beprogramozott repülés. A jelenleg alkalmazott pilóta nélküli repülő rendszerek esetén, a fejlettségüktől függetlenül az ember állítja be az eszközök autonómiájának a szintjét.

Az 1990-as évek előtt a drónokat, mint a Firebeet vagy a Pioneert távírányítású légi járművekként kezelték, semmilyen autonómiával nem rendelkeztek, annyi különbség volt köztük és a vadászrepülőgépek között, hogy pilótáik egy földi irányító állomásról vezették a járműveket. A cirkáló rakéták megjelenésével, mint például a Tomahawk, felfedezték a lehetőséget az eszközök előre beprogramozására, így egyszerűbb feladatokat már önállóan képesek voltak végrehajtani. Az első jelentős autonómiával rendelkező drónnak a Predatort tekinthetjük, mivel már képes volt, félautonóm és előre beprogramozott repülésre.

A Global Hawk felderítő drón az U2-es felderítő repülő munkáját vette át, gyakorlatilag ugyanazt a feladatot hajtja végre, csak fedélzeti pilóta nélkül. A jövőben például a PhantomEye és az Avenger, vagy a közösen fejlesztett nEUROn is feltételezhetően magasabb szintű autonómiát fog elérni. De ezek is távol maradnak még a tiszta autonómiától, mivel csak az olyan eseményekre lesznek képesek reagálni (és lehet, hogy nem is egyből), amit előtte beprogramoztak a rendszerükbe.

Hogy átláthatóak legyenek az eddig bemutatott drónok, nézzük meg az Egyesült Államok Védelmi Hivatalának (U.S. DoD - United States Department of Defense) táblázatát, amelyben fizikai adottságai alapján sorolják be a drónokat:

1. Táblázat Az UAV-k kategorizálása USA Védelmi Hivatala által

Besorolás	Maximum tömeg (kg)	Névleges működési magasság (m)	Sebesség (km/h)	Példák
Class I	0-9	<360	<185	RQ-11 Raven
Class II	9-55	<1066	<463	ScanEagle
Class III	55-600	<5486		RQ-7B Shadow
Class IV	>600	>5486	Bármilyen sebesség	MQ-1 Predator
Class V				MQ-9 Reaper, RQ-4 Global Hawk

Eddig a Class III, vagy magasabb szintű UAV-k használata volt elterjedt, amik általában nagyok és költségesek a kisebb drónokhoz képest. Emellett ezen eszközök bevetése magasabb szintű parancsnoki döntést igényelt.

A legfrissebb iraki és afganisztáni műveletek megmutatták a kicsi, Class I UAV-k hatékonyságát, amik olcsók (tehát feláldozhatóak), könnyen szállíthatóak és általában kevés előkészítést és logisztikai támogatást igényelnek a felszállás előtt. Ezek képesek járműveket követni, kommunikációs csatornát létrehozni, jeleket elfogni, vagy egyszerűen a harcoló katonának „madártávlatú” képet adni a csatatérről. Egyedül dolgozva ezen eszközök képességei korlátozottak, kis tömegük miatt a hasznos teher tömege határolt. Viszont ha különböző eszközöket különböző szenzorokkal szerelünk fel, és ezeket összekapcsoljuk, az adatokat megosztva segítik egymás munkáját, szenzorrendszerként működnek. Például egy drónt hagyományos kamerával, egy másikat hőkamerával, a harmadikat pedig mozgásérzékelővel látunk el, így a célterületet hatékonyabban figyelik meg, vagy nagyobb az esély a célpont azonosítására.

A legtöbb UAV rendszer azonban (bármilyen méretű) emberirányítású, vagyis viszonylag nagy odafigyelést igényelnek a kezelőiktől. Ha ezt vesszük alapnak, az UAV rajok annyi tapasztalt kezelőszemélyt igényelnek, ahány eszközből áll a raj, és a kezelőknek folyamatosan számolniuk kell a repülésből származó fizikai erőkkal, a feladat-végrehajtás feltételeivel és a változó helyzetekkel valós időben.

Az autonómia koncepciója az embert az irányítási hurkon kívülre helyezi. A kezelőnek csak a feladat céljait kell megszabnia, és erőforrásokat kell biztosítania (pl. üzemanyagot és áramot), és a rendszerre bíznia maga a feladat megoldását, maximum a rendszer által javasolt módszerek közül kell kiválasztania a leghatékosabbat. Az egyszerű fel- és leszállás, valamint a könnyű karbantartás mind jelentős előnyei ezeknek az eszközöknek, hogy működtetésükhöz betanított pilóták nem szükségesek. Olyan járművekhez, melyek önállóan képesek fel és leszállni egy katona elég, hogy egy egész rajt kiszolgáljon, csak az üzemeltetés és a programozás az igazi feladat. A kutatók olyan koncepciókon is dolgoznak, ahol kisebb járműveket nagyobb UAV-król, ember által vezetett repülőgépből, tengeralattjáróból, hajóról vagy fegyverből indítsanak. [1][2][3]



1. ábra Coyote swarm tervek

3. A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐ ESZKÖZÖK RAJBAN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁNAK ELMÉLETE

A John Hopkins Egyetem Alkalmazott Fizika Laboratóriumának (Applied Physics Laboratory - APL) 2006-ban több módszert is vizsgált az UAV rajok koordinációs viselkedéséhez. Ezek között vannak egyszerű csapat elrendezések, létezik olyan, ami közös változót használ és olyan is, ami sztimergikus potenciáaltereket alkalmaz. Kulcsfontosságúak a repülési tesztek, amelyek kivitelezési stratégiák kifejlesztésére, az operációs rendszerek tesztelésére, és az aktuális repülés bemutatására szolgálnak. [3]

3.1. „Egyszerű csapat” módszer

Az egyszerű csapat módszert használta az APL a korai autonóm UAV-k együttműködésének megalkotására. Az általános célja, hogy biztosítsa a komplex feladatok végrehajtását kisméretű, alacsony költségű járművek összehangolásával. Emiatt a fedélzeti komputernek is könnyűnek és egyszerűnek kell lennie, és viszonylag kevés számítási teljesítményre legyen szüksége, de ezzel együtt képesnek kell lennie egy dinamikus változó környezethez alkalmazkodni. Az integrált hasznos teher a „plug-and-play” szenzorrendszerrel, és a hozzá tartozó alrendszer interfészekkel együtt, megfelel a tömeg, térfogat és elektromos ellátás által szabott határoknak.

Az UAV-k feladata az volt hogy találjanak meg és azonosítsanak egy célpontot, a jelen esetben egy rádiófrekvencia (RF) jeladót úgy, hogy közben több ál-jeladó is sugárzott más frekvencián jeleket. Mindegyik UAV fel volt szerelve egy RF érzékelővel más frekvenciára beállítva. A célpont két frekvencián is sugárzott jeleket, emiatt mindkettő UAV-re szükség volt a cél-jeladó megtalálásához és kiválasztásához a több ál-jeladó közül.

Felszállás előtt egy kezelő beállította a járműveket az alábbi feladatra:

1. A felszállás után a járművek elkezdik keresni a célterületen a jeladókat.
2. Ha egy jármű talál egy jelet, megjelöli a helyét a másik UAV-nak és az megnézi, hogy a jeladó igazi vagy álca.
3. Ha álca, akkor mindkettő UAV folytatja a keresési feladatát.
4. Ha megvan a célpont (mindkét UAV érzékeli a frekvenciát), akkor a videokamerával felszerelt UAV képeket készít a célról, és mindkét jármű visszatér a bázisra.

Amíg a keresési módszer előre programozott, a célok elrendezése nem. A sikerhez szükség volt a két jármű közös munkájára, miután megkapták a feladatot, emberi beavatkozás nélkül véghezvitték a feladatot. [3]

3.2. Közös változós módszer

Egy másik megközelítés, ami már több mint kettő járművet is tud kezelni, a közös változós módszer. Az összehangolt munkához egy időben változó vektort használnak, amit koordinációs, vagy közös változónak nevezünk. Mindegyik eszköz magával hordozza a saját értékét a közös változónak, és frissíti az értékét attól függően, hogy a többi eszköz, amellyel tud kommunikálni milyen értékkel rendelkezik. Habár a pontos időközök a közös változó frissítésére eltérhet, lehetséges, hogy a változó értéke a kommunikáló eszközök között konvergáljon.

Feltételezve, hogy N darab eszköz egy közös változóval ξ -vel rendelkezik, mindegyik eszköz saját változója ξ_i . Mindegyik eszköz a vele kommunikáló eszközök értéke alapján frissíti az értékeit az alábbi módon:

$$\xi_i = \sum_{N_j} k_{ij}(\xi_i - \xi_j) \quad (1)$$

Ahol $k_{ij} \geq 0$ egy súlyozási tényező, ami nem nulla miközben az adat a j és i eszköz között áramlik, máskülönben nulla. Más helyzetben a konvergenciája biztosított, úgy hogy a közös változó végső értéke egy függvény, ami mind a kiinduló értéket, mind az érték változását magába foglalja.

Ahhoz hogy ez igaz legyen, a rajnak olyan kommunikációs hálózatot kell alkotni, ahol egyik eszköz sem igényel közvetlen kommunikációt másik eszközzel, de indirekt módon mindegyik eszköz a rajban összekapcsolódik. Ez egy kulcsfontosságú dolog: a közös változós megoldás nem igényel globális kommunikációt, csak a közös változó megosztása „szomszédról szomszédra” elég, hogy egy fa gráf létrejöjjön, mint a kommunikáció topológiája. [3]

3.3. Dinamikus megfigyelő hálózat

Ez a közös változós rendszer bármilyen több járműves feladtnál alkalmazható. Az APL kifejlesztett egy dinamikus megfigyelő hálózat nevű szimulációt, melyben egy UAV raj információt szerez egy városban telepített földi szenzortól (megfigyelő kamerák, mikrofonok, stb.). Azért választották ezt a szimulációt, mert a városi körülmények között zajló katonai bevetésekhez egyre szükségesebb, hogy egy szétszórt szenzor hálózattal időben és helyileg pontos információval lássák el a bevetés résztvevőit. Azonban ezeket az érzékelőket a zavaró körülmények miatt (ellenséges terület, elektronikus zavarok), nehéz és költséges lenne hálózatra kötni a bázissal. A kisméretű és olcsó drónok egy robosztus ad hoc mobil légi hálózatot képesek teremteni, így a szenzorok által felvett információ átkerül a drónokra, amik egymás között kommunikálva eljuttatják ezt az adatot a bázisra. Ezek a rajok képesek önállóan felszállni, folyamatosan működni és mozogni az optimális kommunikáció kialakítása, az eszközök meghibásodása vagy a harctéri veszteségek pótlása miatt.

A tesztrepülésen az információ az földi szenzorok (Unmanned Ground Sensors - UGS) helyzetéről pontatlan volt, így több UAV-nak közösen kellett felkeresni a földi szenzorokat. Az UGS-ek és az UAV-k között volt kapcsolat, de az UGS-ek között nem. Az egész rendszer célja az volt, hogy optimalizálja a szenzorokból nyert adatok eljutását az adatfeldolgozó bázisig. A teszt során a közös változós módszert alkalmazták úgy, hogy az optimális repülési útvonalat beprogramozták, és az ettől való eltérés volt a közös változó. A raj érzékelte, ha egy adott eszköz letért az útvonalról valami ok miatt, és a raj közös mozgását eszerint változtatták folyamatosan.

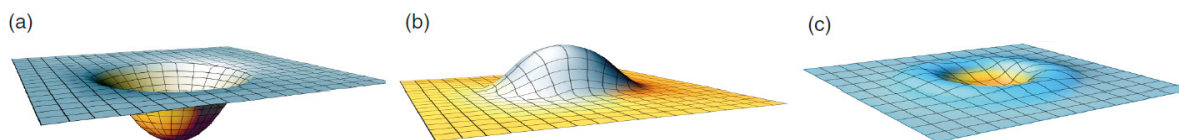
A dinamikus megfigyelő rendszer alkalmazkodik a hálózatban fellépő változásokra, ha az egyik csomópont meghibásodik, az UAV-k ezt érzékelik és önállóan rekonfigurálódnak. Adaptálnak akkor is, ha egy UAV elhagyja a célterületet. Például, időszakosan az UAV-k visszatérnek a bázisra, hogy az összegyűjtött adatot vissza tudják sugározni. Mikor ez megtörténik, az ottmaradt UAV-k rekonfigurálják a repülési útvonalukat úgy, hogy az optimális lefedettség a megváltozott számú UAV-val a lehető legjobban fennmaradjon. Amint a távozott UAV visszatér, az eredeti repülési útvonalra visszaállnak. Ezzel a módszerrel nincs időkiesés, amíg egy meghibásodott, vagy lemerült UAV-t pótolnak, a rendszer gyakorlatilag fenntartja magát, amíg ez szükséges. [3]

3.4. Sztigmergikus potenciál terek (Stigmergic Potential Field - SPF) módszere

A sztigmergia egy teljesen új megközelítést ad az UAV rajokhoz, mint az egyszerű csapat vagy a közös változós módszer. Azok a módszerek a járművek közti kommunikációra alapoztak, vagy egy feladat céljait szem előtt tartó felsőbb irányításra bízták az eszközöket. A sztigmergiával az együttműködés problémáját egy hierarchikusan felépülő rendszer oldja

meg, mely a környezet megváltoztatását és a környezeti változásokhoz való alkalmazást veszi alapul, ez azt jelenti, hogy az eszközök közvetlenül nem kommunikálnak egymással.

Az SPF-el egy virtuális potenciál tér jön létre a célterületen, amely tartalmazza az összes odaillő entitást egy helyi modellben a járművek környezetében. Ezekben a modellekben általában egyenrangúak a járművek, és a változókat mindegyik jármű tudja befolyásolni. Ezek a potenciáltrekek befolyásolják a járművek cselekedeteit, főleg a mozgásukat. A potenciáltérben lévő erők lehetnek vonzóak - a járműveket ebbe az irányba irányítják (a) vagy taszítóak - a járműveket ettől a ponttól taszítva (b) vagy kombináltak (c). Bármely időpillanatban a járműre ható erő, a vonzó, taszító és komplex erők összessége.



2. ábra. Az SPF működése [3]

A sztigmergia a helyileg végbemenő irányítást a potenciál terekkel hajtja végre. Ezzel lehetséges a koordinált mozgás, átmeneti cselekvések és feladat megosztás együttműködő járművek között. Amíg az előző módszerek elméletileg egy optimálisabban viselkedő rajt hoznak létre, a sztigmergia egy gyorsabban reagáló, többtagú csapatot is képes irányítani. [3]

3.5. Az SPF módszer

2004. júliusa és szeptembere között több tesztet végeztek az SPF-ek valós használhatóságáról. A kutatás, nyomkövetés, azonosítás valamint a körkörös és egyenes formáció felvételét vizsgálták. Ezen teszteket egy kisebb heterogén rajjal (2 repülő és 4 földi járművel), és a hozzájuk tartozó 3 kezelőszeméllyel hajtották végre. A tesztelések alatt a megbízatások nehezedtek, míg végül eljutottak egy olyan feladatig, melyben fix és mobil eszközöket kellett megvédeniük egy akadályos teli városi környezetben.

A vegyes UAV/UGV raj volt felelős a felderítésért, megfigyelésért és célbefogásért. A repülés vezérlő algoritmust egy laptop irányította, amit a földi állomással sugároztak a drónokhoz, vagyis az algoritmusok nem a fedélzeti rendszereken futottak. Ez csak azért volt így, mert a robotpilóta rendszer nem támogatott a földi irányításra kapcsolt forráskódon kívül más forrást. Eme algoritmusokat tehát egy fedélzeti komputerre is lehetett volna telepíteni.

Ahhoz, hogy biztosítva legyen egy teljesen valósághű környezet, más zavaró jeleket is sugároztak a szenzorokra a műveleti területről. Kifutópályákat használtak utaknak, és egy erőművet és több épületet is felépítettek fával megerősített hungarocellból. A konvojt egy, a kezelő állomást tartalmazó furgon jelképezte, az ismeretlen forrásokat a helyzetjelzőkkel ellátott tesztelő személyzet adta.

A teszt úgy kezdődött, hogy az egyik kezelő elküldött egy utasítást, mely szerint az egyik rögzített eszköz (az erőmű) védelmet igényel. Az autonóm UGV-k, amelyeket 90m távolságra helyeztek el a céltól, a városi környezet átkutatásával reagáltak. Miután a környéket átkutatták, biztosították az erőművet egy körkörös járőrútvonal felvételével. Eközben a helyi úthálózatot az autonóm UAV-k járőrozétk.

Pár perccel később egy második kezelő egy mozgó eszközökből (a konvojból) jelet küldött, hogy a konvoj folyamatos védelmet igényel. Mikor az UAV-k felfedezték a konvojt, a járőrozésről átváltak kísérésre, légi támogatást biztosítva annak, amíg az úton halad. Többen a tesztelő személyzetből elhelyezkedtek az útkereszteződésnél, és jeladójukkal elkezdtek sugározni. Ahogy a konvoj folytatta az útját, az UAV-k érzékelték ezeket az ismeretlen jeleket, és továbbították az UGV-knek is. Az UGV-k úgy reagáltak, hogy egy

vonalat alkottak az ismeretlen forrás és az erőmű között. Az egyik akusztikus szenzorral felszerelt UGV azonosítási módra váltott, és elkezdett közelíteni a célpontok felé. A valós ellenség más tónusú jelet bocsátott ki, mint a "civiliek", így az UGV azt a jelet ellenségesnek, a többit pedig barátságosnak érzékelte. Ezután az összes UGV átállt nyomkövetés üzemmódba, és elkezdtek üldözni az ellenséges jelforrást, amit később körbevettek és semlegesítettek.

Az utolsó próbában a konvojban lévő kezelőszemély jelzett, hogy a kereszteződésben lehet, hogy robbanószer van elhelyezve, eközben az erőműnél lévő kezelő is jelezte, hogy még mindig védelmet igényel. Az UGV-k önszerveződve ellátták mindkét feladatot. Az UGV-k által végrehajtott összes cselekvés közvetlen válasz volt a kapott jelekre, és nem történt közben emberi beavatkozás. Ezt a gyakorlatot többször végrehajtották sikeresen. A járművek egyéni mozgása minden alkalommal változott, az összhang és a hatékonyság megmaradt.

A hardware hibák kulcsfontosságú szerepet játszottak az irányító algoritmusok megbízhatóságának bemutatásában. Két UGV is meghibásodott, az egyik irányításában adódott hiba, a másik lemerült. A fennmaradó járművek folytatták a feladatot anélkül, hogy megálltak volna újratervezni, vagy beavatkozott volna a kezelő. A hibák ellenére a fennmaradt járművek végrehajtották a küldetést úgy, hogy a végrehajtás ideje csak 15%-al nőtt.

Ez az önálló önfenntartó képesség hatalmas előnye a drón rajoknak, nem igényeltek folyamatos beavatkozást, és a meghibásodások miatt sem jött létre idővesztés. [3]

3.6. Értékelés

Az APL által kifejlesztett és bemutatott közös változós és SPF módszer használhatónak bizonyult. Az egyszerű csapat megközelítés viszont nem képes összetett feladatokat végrehajtani és több járművet is egyszerre kezelni. Láthattuk hogy megbízható, robosztus rendszer alakult ki az eszközök között, hatékonyan tudtak kommunikálni, és több helyzetben is boldogultak, még az esetleges meghibásodásokat is tudták kezelni. Az APL kutatói szerint a kis méretű UAV rendszerek, és az autonómia együttes fejlődésével 10 évvel később már sokkal komolyabb harci feladatokat is el tudtak látni az UAV rajok. [3]

4. AZ UAV RAJOK KATONAI MŰVELETEKBEN VALÓ ALKALMAZÁSA

Ebben a fejezetben kettő, a napjainkban tesztelt kutatást láthatunk. A Gremlin egy felderítést és elektronikai támadást képes végrehajtani, míg a LOCUST kimondottan harci feladatokra tervezték.

4.1. Gremlin

A DARPA kutatói egy hálózatosan összekapcsolt drón raj kifejlesztésén dolgoznak, mely egy C-130-as fedélzetéről indulva elektronikus támadást és felderítést végez, majd egy másik C-130-as felszedi a lehető legtöbb épségben maradt UAV-t. Az UAV-k különböző megfigyelés és elektronikai hadviseléshez használható hasznos teherrel lennének ellátva, amely megkönnyítené az ellenség légvédelmén túl a működésüket.

A cél egy olyan UAV megalkotása, amely olyan alacsony költségű, hogy elvesztése nem veszélyeztetné a feladat sikerességét. Emellett az egymással kommunikáló és összedolgozó drónok képesek átvenni a megsérült eszköz helyét a feladatvégzés közben is. Az ellenséges légtérben lévő feladat lehet támadás előtti felderítés és megfigyelés, valamint elektronikus támadás az ellenség kommunikációja vagy légvédelme megsemmisítése céljából.

A program célja, hogy alapvető változást hozzon a légi támadásokban. Egy megszokott monolitikus rendszer helyett, a DARPA több összehangolt platformot használna az ellenség védelmének pusztítására. Nem csak az ellenséges területen zajló feladatvégzés hatékonysága javulhat, hanem a műveletek költségei is jelentősen csökkenhetnek. [4]

4.2. LOCUST

Az Egyesült Államok haditengerészete 2016. nyarán végezte az első tesztrepülést az UAV rajjal. Mi történik, ha egy rajnyi lassú, kis teljesítményű drón megtámad egy modern hadihajót? Olyan védelmi rendszer kijátszásához vezethet ez a megoldás, amely képes szuperszonikus cirkáló rakétákat vagy vadászgépeket is harcképtelenné tenni.

Az U.S Navy (Amerikai Haditengerészet) a vezető az úgynevezett swarm warfare-ben (raj harcászat), a fenti veszélyhelyzetet több elemző segítségével is analizálták. Az egyik ilyen LocPham 2012-es cikke az „UAV SwarmAttack” (pilóta nélküli légijármű rajban való támadása), mely egy egyszerű szituációt ír le.

Egy haditengerészeti rombolót 5-10 drón egyidejűleg támad meg, több irányból, jó látási viszonyok mellett. A drónok egyszerű anyagokból készültek, melyet akár otthon is elő lehet állítani, és rejtve egy közeli halászbárkáról irányítják őket. Közöttük vannak manuálisan irányítottak, és az izraeli Harpy-ra hasonlóan cirkáló (loitering) radar irányítással rendelkező modellek.

A védők jól felszereltnek tünnek, az Aegis légvédelmi rendszer a világ egyik legjobbjának számít az integrált szenzor- és fegyverrendszereivel, melyek zavaró berendezésekkel, álcákkal, föld-levegő rakétákkal, és két Phalanx fegyverrendszerrel vannak kiegészítve. Az Aegis még feltehetően hat nehézgépfegyver támogatja a fedélzetről.

A megerősítés oka, hogy az Aegis nem tud megbirkózni hasonló fenyegetettséggel. A kis drónoknak a radarjelük elenyésző, és mire észlelik őket túl közel lesznek, hogy a rakéták tüzeljenek rájuk. Az Aegis zavarórendszerei nem drónok ellen készültek, így nem befolyásolja a drónok irányítását. Emiatt a drónokkal a gépfegyvereknek kell elbánni közelről. A 200 km/h-val közeledő drónok kevesebb, mint másfél kilométerről való észlelése és a becsapódásuk között csak 15 másodperc ideje van a védőknek, így létfontosságú, hogy minden védő más célpontot válasszon magának, máskülönben egyes drónokra többen is tüzet vezetnek, míg mások sértetlenül átcusszannak a védelmen.



3. ábra. A LOCUST raj felszállása

A csapat több száz szimulációt futtatott, és a 8 támadóból átlagosan 2,8 át is jutott. Még akkor is, ha a védelmet jelentősen feljavították (jobb érzékelők, több gépfegyver és Phalanx) legalább egy drón átjut minden alkalommal. Még nagyobb számban is (10-15) a védők csak körülbelül az első héttel tudnának elbánni.

Ezt a gyengeséget kihasználva sokkal hatékonyabb nagy számú olcsó drónnal megtámadni egy hajót, mint egy rakétával ami ugyanannyiba kerül, és a haditengerészet LOCUST (Low-cost UAV Swarming Technology - Alacsony költségvetésű UAV raj technológia) programja

tervez. A cél, hogy harminc drón együtt repüljön, egyéni irányítást nem igényelve, miközben tartják a távközöket egymástól, pont mint egy madárraj. Eltérnek az eddig látott drónoktól olyan szempontból, hogy a kezelő személy már nem csak egy önálló légi járművet irányít, hanem egy egész rajt, mint egy egységet.

Dr. Lee Mastroianni, a LOCUST program vezetője, hisz benne hogy egy egész raj olcsóbb lesz, mint egy rakéta, és az 1,2 millió dolláros Harpoon hajó-elleni rakétát nézve igaza lehet. A Locust jelenleg 15000 dolláros Coyote drónokat használ. Persze ezek kisebb robbanófejet hordoznak, de a pontos célzás fontosabb lehet, mint a robbanófej mérete, egy hajó radarját elpusztítva az egész fegyverrendszere megbénul.

A fenti szimuláció azt is megmutatta, hogy a jelenlegi védelmi rendszerek mennyire sebezhetők egy drón raj támadása esetén. Timothy Chung, a Monterey Haditengerészeti Posztgraduális Iskola tudósa szerint védelmi rajokkal lehet legjobban kivédeni a támadó rajokat, el is indította projektjét „Aerial Combat Swarms”, azaz légi harcoló rajok néven.

Chung versenyeket szervez kis drónokból álló rajoknak, hogy szimulált csatákat vívjanak, így tesztelve mind a technológiát és a taktikát. Az alapszituációban egy 50vs50-es ütközetben a kék védők próbálják megállítani a vörös támadók átjutását. Jelenleg senki nem tud sokat a drónok egymás elleni harcáról, főleg ilyen szinten. Milyen szintű autonómiára van szüksége a drónoknak? Milyen minőségű és mennyiségű drónra van szükség a harcoló rajokban?

Míg a pilóta által vezetett repülő eszközökben a pilóta élete sokat számít, a drón rajok feláldozhatók és a nagy veszteségek sem költségesek. A jövő „dogfightjai” olyanok lesznek amilyeneket még sohasem láttunk. Ember által vezérelt vadászrepülők helyett számtalan, még a Locustban használtaknál is kisebb és olcsóbb drónok fogják vívni, és az itt használt taktikák megváltoztatják a háborúzás jövőjét.

Ha a jövőben egy amerikai anyahajót egy drón raj támad majd meg, a védelem is lehet, hogy drón rajból fog állni. Hogy ezután mi következik (visszaverik a támadást, vagy az anyahajó elpusztul), azon fog múlni, hogy melyik fél tudja jobban használni a hadviselésnek ezt a módját. [5]

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az UAV-k összekapcsolása és rajban való alkalmazása is egyre valószínűbbá válik. Ezen kisméretű, olcsó eszközök felhasználása határtalan, teszteken keresztül láthattuk hogy a felhasználhatóságuk a megfigyelés, járőrözésen túl egészen a korszerű hadihajók megtámadásig terjed. A nanotechnológia fejlődése is a felé mutat, hogy az egyéni drónok helyett a rajok használata fog elterjedni.

Gordon Johnson a Pentagon Összhaderőnemi parancsnoka szerint: „Nem éhesek, nem fáradnak el, nem felejtik el a parancsaikat, nem zavarja őket ha a mellettük lévőket lelövik. Jobb munkát fognak végezni, mint az emberek? Igen.”

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **WILLIAM C. MARRA & SONIA K. MCNEIL:** *Understanding “the loop”:Regulating the Next Generation of War Machines*, (online) url: http://www.harvardjlp.com/wpcontent/uploads/2013/05/36_3_1139_Marra_McNeil.pdf (2016.02.17)
- [2] **PETER W. SINGER:** *Wired for War, The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty First Century* , Penguin Press, 2009.
- [3] **ROBERT J. BAMBERGER JR., DAVID P. WATSON, DAVID H. SCHEIDT, AND KEVIN L. MOORE:** *Flight Demonstrations of Unmanned Aerial Vehicle Swarming Concepts*, Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 27, Number 1

- (2006). (online) url: <https://pdfs.semanticscholar.org/6cbf/5905fa034cc8be107cb234bcb0e185ed74c.pdf> (2016.02.17)
- [4] **John KELLER:** *Gremlin drone swarms to overwhelm enemy defenses with reconnaissance and electronic warfare UAVs*, (online) url: <http://www.militaryaerospace.com/articles/2015/09/gremlin-drone-swarms.html> (2016.02.17)
- [5] **DAVID HAMBLING:** *U.S. Navy Plans to Fly First Drone Swarm This Summer*, (online) url: <http://www.defensetech.org/2016/01/04/u-s-navy-plans-to-fly-first-drone-swarm-this-summer/> (2016.02.17)
- [6] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.:** *A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2016. Miskolc, 2016. május 25. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottság, ISBN 978-963-7064-33-3 Debrecen 2016. pp. 592-601.
- [7] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015.05.16 pp. 183-188. ISBN:978-963-359-053-9
- [8] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.:** *Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles*, Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means 2015., Kaunas, Litvánia, 2015. pp. 219-222.

EGY ÚJ SZEMANTIKUS ELVŰ SZOFTVERALKALMAZÁS - AZ INVERZ SZÓTÁR

A NEW SEMANTIC-BASED SOFTWARE APPLICATION - THE INVERSE DICTIONARY

PERLAKI Attila¹, DUDÁS László²

¹doktorandusz, perlaki@upcmail.hu

¹Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

²egyetemi docens, iitdl@uni-miskolc.hu

² Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: A cikk egy új elvű szótárprogramot ismertet, melyben a fordított alak egyértelmű előállításán van a hangsúly. A hagyományos szótárprogramoknál kellemetlen az, hogy a beírt magyar szó idegennyelvű megfelelője helyett az esetek többségében több lehetséges fordítást is kapunk, a kezelőre bízva a választást. Az új elvű, inverz szótárnak nevezett alkalmazás a kezelő anyanyelvén teszi lehetővé a fordítandó fogalom körülírását, részletesebb specifikálását, cserébe csak egyetlen tökéletes idegennyelvű alakot szolgáltat.

Kulcsszavak: szótár, szemantika, egyértelmű fordítás, inverz szótár

Abstract: The paper presents a new dictionary application based on new theory where the emphasis is on the univocal production of the translated word. In case of conventional dictionary applications is disturbing that instead of the best translated form of the entered word the dictionary gives many translated expressions in most of the situations and leaves the task of the selection on the user. The application based on new theory and named inverse dictionary needs the definition, detailed specification of the concept to be translated in the mother tongue of the user but in exchange gives only one, best translation.

Keywords: dictionary, semantics, univocal translation, inverse dictionary

1. BEVEZETÉS

A cikk egy új elvű szótárprogramot ismertet, melyben a fordított alak egyértelmű előállításán van a hangsúly. A hagyományos szótárprogramoknál kellemetlen az, hogy a beírt magyar szó idegennyelvű megfelelője helyett az esetek többségében több lehetséges fordítást is kapunk, a kezelőre bízva a választást. Az új elvű, Inverz Szótárnak nevezett alkalmazás a kezelő anyanyelvén teszi lehetővé a fordítandó fogalom körülírását, részletesebb specifikálását, cserébe csak egyetlen tökéletes idegennyelvű alakot szolgáltat. Az alkalmazott elv kihasználja azt, hogy a saját nyelvén mindenki könnyen ki tudja magát fejezni.

Azt, hogy az emberi fordításra és annak számítógépes támogatására még egy ideig szükség lesz, a következő fejezetben bemutatott fordítóprogramok minősége mutatja.

1.1. A Morphologic fordító

A Prószéki Gábor által évtizedek óta vezetett Morphologic cég lingvisztikai alapokon nyugvó munkásságának egyik kiemelkedő eredménye az angol-magyar fordító. A program az elérhető fordítók közül az egyik legjobb (Lásd morphologic.hu). A következőkben a statisztikai elvű Google Fordítóval hasonlítjuk össze.

1.2. A Google Fordító (Google Translate)

A közel tíz éve létező fordító képességét a rendelkezésére álló nagytömegű, több nyelven is elérhető ismeretekből szerezte. A fordításhoz szükséges készséget öntanuló módon alakította ki. Ebből eredően jelenleg is tanul, azaz a fordítások minősége fokozatosan fejlődik. A működési elvről annyi tudható, hogy a *Franz Josef Och* által kifejlesztett statisztikai elven működik, amely milliós nagyságrendű kétnyelvű szövegállomány, továbbá milliárdos nagyságrendű egynyelvű szövegállomány – korpusz – által hordozott, elsősorban a szavak és morfémák gyakorisági, közelségi, rákövetkezési adatain, illetve magasabb szinten – szókapcsolatok, frázisok – kinyert hasonló statisztikákra épülő, gyakorlatilag rejtett szemantikus hálót alkalmazó tudásszemléltetéssel működik [1, 2].

A két fordítónál a magyarra fordítás minőségéről képet alkothatunk a Wikipédia Google Fordító szócikkének példái alapján [3].

Angol szöveg:

„Google Translate is as of January 2009 [update] a beta service provided by Google Inc. to translate a section of text, or a webpage, into another language, with limits to the number of paragraphs, or range of technical terms, translated. For some languages, users are asked for alternate translations such as for technical terms, to be included for future updates to the translation process.”

Morphologic fordító fordítása (2017):

„Google Translate van 2009 januárjától [frissítés] egy bétaszolgáltatás Google Inc. által gondoskodott hogy a bekezdések számának, vagy a tartománynak a határaival fordítson le a szöveg egy részét, vagy egy weboldalt egy másik nyelvbe, műszaki időszakú, fordított. Néhány nyelvért felhasználóktól kérnek váltakozó fordításokat olyan ami a szakkifejezéseket illet hogy jövőbeli frissítésekért legyenek beleértendőek a fordítási eljárásba.”

Google Fordító fordítása (2017):

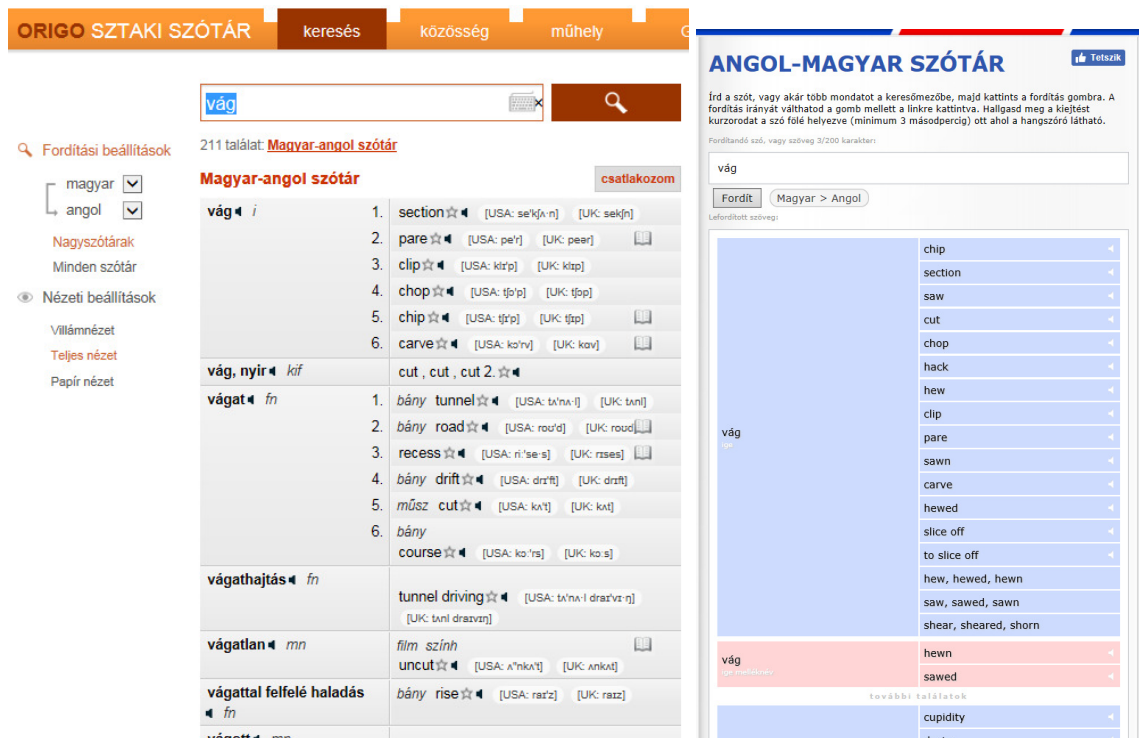
„A Google Fordító 2009 januárjától [frissíti] a Google Inc. béta szolgáltatást, hogy lefordítsa egy szövegrészt vagy egy weboldalt egy másik nyelvre, korlátozva a bekezdések számát vagy a technikai kifejezések skáláját, lefordítva. Bizonyos nyelvek esetén a felhasználóknak alternatív fordításokat kell kérniük, például a technikai kifejezéseket, hogy szerepeljenek a fordítási folyamat jövőbeni frissítéseéhez.”

A Google Fordító szintje mára elérte a Morphologic cég lingvisztikai alapokon nyugvó angol-magyar fordítójának színvonalát, a sebessége nagyságrendekkel jobb.

2. SZÁMÍTÓGÉPES SZÓTÁRPROGRAMOK ÉS FŐ JELLEMZŐIK ELEMZÉSE

A következőkben az általunk készített Inverz Szótár bemutatása előtt ismertetjük néhány elterjedten használt szótárprogram jellemzőit. Mindezt azért, hogy az Inverz Szótár újdonsága, eredetisége érezhető legyen. A számunkra legfontosabb magyarról angolra fordításirányt vizsgáljuk. A következő szótárprogramokat elemezzük (1. ábra, 2. ábra):

- ORIGO SZTAKI szótár (<http://szotar.sztaki.hu/>)
- ANGOL-MAGYAR SZÓTÁR (<http://angol-magyar-szotar.hu/>)
- Morphologic szótár (<http://www.webforditas.hu/szotar.php>)



1. ábra A vág szó fordításai az ORIGO SZTAKI és az ANGOL-MAGYAR SZÓTÁR-ban



2. ábra A vág szó fordításai a Morphologic szótárban

A szótárakat a fejlesztésünk számára legfontosabb szempont, az *egyértelmű fordítás* kinyerésére való alkalmasság szempontjából vizsgáljuk. Azt várjuk ugyanis, hogy ezek a szótárak az esetek túlnyomó részében nem egyértelmű megoldást, nem egyetlen, számunkra

legalkalmasabb fordított szót, esetleg kifejezést fognak adni, hanem a szavak általános többjelentésűsége miatt több alternatív eredményt, továbbra is ránk bízva a feladat nehezét, nevezetesen, hogy az általunk kevésbé birtokolt nyelven adott hasonló jelentésű szavak közül mi válasszunk.

2.1. Szótárprogramok gazdagság szerinti összevetése

A vizsgálat módszere a következő: mindegyik szótárnak megadjuk ugyanazt az $N = 20$ szót és nézzük, átlagosan hány fordítást szolgáltatnak. A szavakat úgy választjuk meg, hogy elképzelésünk szerint egyértelmű és sokértelmű szavak egyaránt legyenek a tesztalmazban. A vizsgálat megbízhatóságát a halmaz számosságának növelésével fokozhatnánk, de most az elv bemutatására helyezzük a hangsúlyt.

A vizsgált szavak: narancs, dugóhúzó, cirkusz, térd, barátság, ház, szeret, villamos, vág, ital, pecsét, boldogság, orr, ég, hoz, tolvaj, él, fájdalom, fej, foghúzás.

1. Táblázat A vizsgált szavak esetében adódott fordítások száma a vizsgált szótárak esetén

<i>magyar szó</i>	ORIGO SZTAKI	ANGOL-MAGYAR SZÓTÁR	Morphologic szótár
narancs	1	2	1
dugóhúzó	2	6	1
cirkusz	2	5	2
terd	3	3	1
barátság	4	5	2
ház	5	11	3
szeret	5	8	4
villamos	6	10	5
vág	6	19	10
ital	7	10	3
pecsét	9	13	3
boldogság	9	11	3
orr	10	19	4
ég	10	18	8
hoz	11	27	4
tolvaj	13	26	4
él	14	16	8
fájdalom	16	21	9
fej	17	31	9
foghúzás	1	1	1

A fordítási változatok átlagos száma:

ORIGO SZTAKI szótár: **7.55**
 ANGOL-MAGYAR SZÓTÁR: **13.1**
 Morphologic szótár: **4.25**

A szótárak használatából látható, hogy gyakorlatilag alig adnak egyértelmű fordítást, hiszen a szavaknak több jelentése is van, és mi a jelentésre vonatkozó információt csak gyéren adunk meg a szóalak beírásával. Emiatt ránk hárul a fordítási lehetőségek közül az elvárt jelentéstartalmúnak a kiválasztása. Ezt a szótárprogramok különfélelekppen segítik.

2.2 Szótárprogramok nyújtotta támogatás a kiválasztáshoz

Második vizsgálatban azt nézzük, milyen lehetőséget nyújtanak a vizsgált szótárprogramok a mi általunk várt jelentést lefedő egyértelmű fordított verzió megtalálásához.

ORIGO SZTAKI szótár

A SZTAKI szótár megadja a fordítási variánsokat azok szófaja nélkül. Továbbá a keresett szót tartalmazó frázisok sokaságának fordításait is megadja, ami nagyon hasznos, mert általában egészen másképp fordítódnak. Így egyfajta jelentési környezet bevitelét támogatja. Természetesen ezekre a frázisokra önállóan is rákereshetünk, mi több, ezt egy lenyíló menüvel is támogatja a program. Egyedül a SZTAKI szótár jellemzője, hogy egyes esetekben a fordított alak mellett tipikus beágyazó mondatot is megad mindkét nyelven a fordítás jóságának könnyebb beazonosítására.

ANGOL-MAGYAR SZÓTÁR

Ez a program, bár szótárprogramnak mutatja magát, fordításra is képes, azaz mondatok is beadhatók neki, bár csak legfeljebb 300 karakter hosszúak. Próbaként a korábban használt angol szöveg első mondatát magyarra fordítottuk vele, az eredmény még hagy teret az emberi fordításnak:

„google translate, mint a január 2009-es frissítés egy béta szolgáltatás, a google inc. a fordítás egy része a szöveg, vagy a weboldal más nyelvre, a korlátokat, hogy a bekezdések száma, illetve számos műszaki kifejezések fordítása”

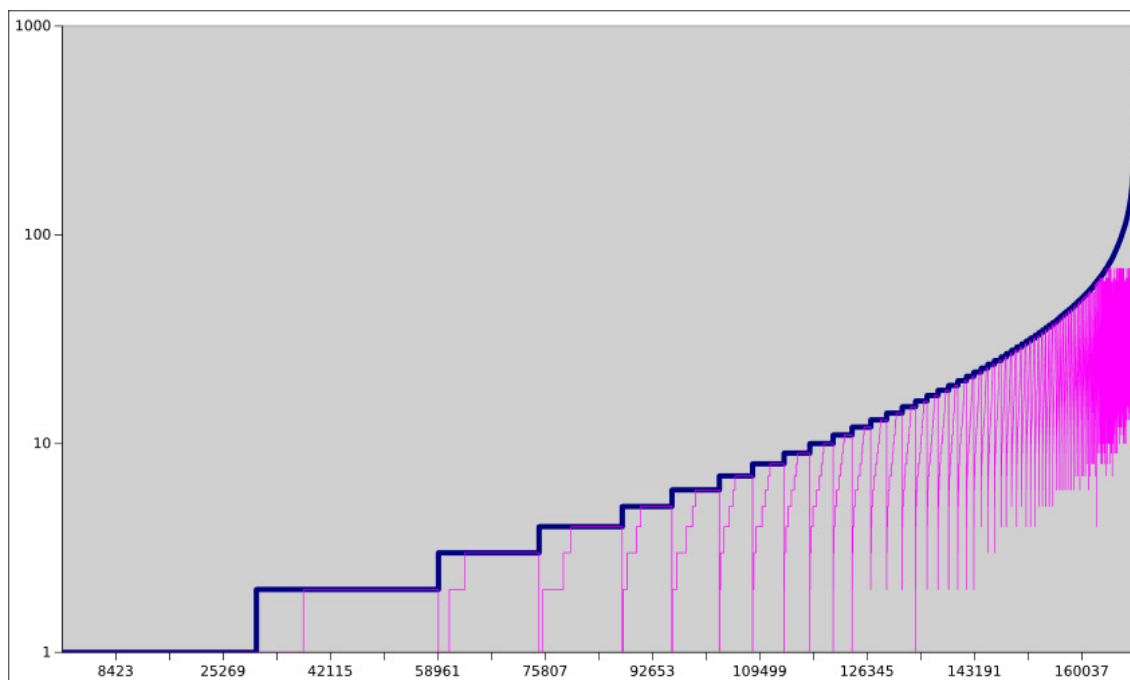
A szótárazásnál jó tulajdonsága, hogy a fordításokat az eredeti szó szófajától függően adja. A fordítandó szót tartalmazó kifejezések fordítását a beadó sor legördülő menüjében megjelenő kifejezések felajánlásával támogatja. Ezeket a frázisokat automatikusan fordítja és hozzáadja a fordítandó szó találataihoz. Ebből, és a szövegfordító képességéből is következik, hogy teljes kifejezések fordítását is végezhetjük, ami előnyös.

Morphologic szótár

A Morphologic szótár is adja a szó különböző fordításai mellett a szót beágyazó magyar kifejezések fordítottját is. A szó különböző fordításai mellé zárójelben rövid értelmezést is ad a fordítás releváns területét megadva. Ez egyértelműen segíti a megfelelő fordított alak megtalálását.

Mindegyik szótárprogram nyújtja azt a kényelmi szolgáltatást, hogy a fordítások közül bármelyikre kattintva, azt visszafordítja és ily módon lehetőséget nyújt a jelentéstartalom ellenőrzésére, szükség esetén pedig ezt a ciklust ismételve a legmegfelelőbb fordítás megtalálására. Ez egy nem könnyű lehetőség a megfelelő fordítás kiválasztására. Egy kb. 170 ezer lexémából (főleg szavak, de vannak köztük kifejezések is) álló szövegbázissal végzett

elemzés a 3. ábrának megfelelő képet adta. A vízszintes tengelyen vannak a lexémák rendezetten, a függőleges (logaritmikus) tengelyen a lefordításukkor kapott fordítások száma. Látszik, hogy a kb. 170 ezer vizsgált lexémából kb. 30 ezer 1:1 megfeleltetésű (pl. narancs → orange). Nagyjából ugyanennyi a kétjelentésű szavak száma is (pl. cirkusz → circus, hippodrome), majd a három már kevesebb, és megy a lépcső fölfelé egyre rövidülő vízszintes szakaszokkal, azaz egyre kevesebb olyan szó van, amelynek még több fordított alakja van. Ami még látható, az a "második szomszédok", azaz a bemeneti szó fordítottjainak visszafordítása a sokjelentésűeknél a minimumszámra is emelkedő korlátot mutat - a vékony vonalak alja egyre feljebb kerül.



3. ábra Szavak fordításainak (vastag) és visszafordításainak (vékony) számossága

Kijelenthetjük, hogy a forrásnyelven a szövegek létrehozói anyanyelvi szinten tudják kifejezni magukat, a kívánt árnyalt jelentést könnyen meg tudják fogalmazni. A fenti elemzések alapján kimondhatjuk, hogy előnyös lenne egy olyan szótárprogram, illetve funkció, amely lehetővé tenné, hogy forrásnyelven definiáljuk, írjuk körül, támogassuk meg a fordítandó szót annyira, hogy ezen információk birtokában a fordítás már egyetlen egyértelmű tökéletes jelentésű fordított szót, illetve kifejezést adjon. A következőkben bemutatandó Inverz Szótár ezt az igényt elégíti ki.

3. AZ INVERZ SZÓTÁR

A cél az, hogy az árnyalt jelentés birtokában a fordítás már egyetlen egyértelmű tökéletes jelentésű fordított szót, illetve kifejezést adjon. Az elkészített nullverziós prototípussal végzett próbákkal érzékeltetjük az elvben rejlő előnyöket. A példában a beadott magyar szó a vár. A 4. ábrán alatta a lehetséges fordításokat jelenítette meg a program, azok alatt pedig a fordítandó fogalom pontosításához felhasználható szavakat.

vár

castle fastness hold to await to expect to look for
to tend to wait

-állóság befolyás bástya (sakkban) börtön ellenálló képesség ellenállóság ellát elvár erőd
erősség felszolgál felügyel fermata fogás gondját viseli gondol gondoz gyorsaság gyám hajlik
hajótér halad hatalom hisz irányul jól sikerült felvétel keres korona könnyűvérűség megy
moon odú parish lantern raktér remél rögzítettség satellite szabadosság szilárdság szorosság
számít vmire szintartóság tart tartó tartósság támasz valódiság valószínűnek tart vár várakozik
védőbástya ápol üreg őriz

4. ábra A vár szó elsődleges fordítottjai és a finomításhoz választható szavak

A finomításhoz választható szavak közül a *korona* szót választva a program már egyértelmű fordítást ad a vár szóra: *hold*. Hasonlóan az *ellenállóság* szóval pontosítva a jelentést, a fordítás a *fastness* szóra szűkül, lásd az 5. ábrán.

vár korona

hold

befolyás börtön erőd fermata fogás gyám hajótér hatalom jól sikerült felvétel korona moon
odú parish lantern raktér satellite tartó támasz vár üreg

vár ellenállóság

fastness

-állóság ellenálló képesség ellenállóság erőd erősség gyorsaság könnyűvérűség rögzítettség
szabadosság szilárdság szorosság szintartóság tartósság valódiság vár védőbástya

5. ábra A vár szó fordítottjai a finomító szavak kiválasztása után

4. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az Inverz Szótárban rejlő továbbfejlesztési lehetőségek a következők:

- Az adatbázis feltöltöttségének növelése
- A körülíró támogatószavak körének redukálása a fordítás precizitásának sérülése nélkül
- A szavak szemantikai holdudvarának statisztikai adatokkal kiegészített előállítása
- Valószínűségek alkalmazása kényelmes tolokás megoldással a támogatószavak relevanciájának finom beállíthatóságára
- Szövegkörnyezet alkalmazása a támogatásigény csökkentésére – rejtett automatikus támogatás
- Kiterjesztés kifejezések fordítására, előretekintve a számítógépes fordítás irányába.

Köszönetnyilvánítás "A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **OCH, F.:** *Statistical machine translation live*, Google Research Blog, 2006. <https://research.googleblog.com/2006/04/statistical-machine-translation-live.htm>, Utolsó elérés: 2017.05.27.
- [2] **SCHULZ, T.:** *The universal language*, Science & Technology, 2013. http://www.winnipegfreepress.com/arts-and-life/life/sci_tech/the-universal-language-225618412.html, Utolsó elérés: 2017.05.27.
- [3] *Google Fordító*, Wikipédia, 2017. https://hu.wikipedia.org/wiki/Google_Ford%C3%ADt%C3%B3, Utolsó elérés: 2017.05.28.

KARBANTARTÓ SZAKEMBEREK VÉLEMÉNYÉNEK ELEMZÉSE A PÁROS ÖSSZEHASONLÍTÁS MÓDSZERÉVEL

INVESTIGATION OF MAINTENANCE EXPERTS' OPINIONS WITH PAIRWISE COMPARITION

POKORÁDI László¹, ÁGOSTON Gábor², FENYVESI Csaba³

¹ egyetemi tanár, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

¹ Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, Óbudai Egyetem

² BSc hallgató, agostongabe@gmail.com

² Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely, Óbudai Egyetem

³osztályvezető, fenyvesic@npp.hu

MVM Paksi Atomerőmű ZRt

Kivonat: A műszaki vezetők döntésének egyik mozgató rugója az adott szakterület sajátosságain alapuló értékrend képviselete. Ez meghatározó szerepet játszik például a karbantartással kapcsolatos döntéshozatalban. Tanulmányunkban egy nagyobb lélegzetű elemzés részeként elvégzett mikro kísérlet eredményeit és azok összehasonlítását mutatjuk be. A kapott eredmények a Szerzők további kutatómunkájának alapjait képezik.

Kulcsszavak: döntéshozatal; karbantartás; páros összehasonlítás

Abstract: One of the most important “task” of technical management’s decision making is showing scale of values of given part of engineering. It plays a decisive role in the decision of maintenance management. This paper shows the results of our micro experiments conducted as part of a long-winded research and its comparison are presented.

Keywords: decision making; maintenance; pairwise comparison

1. BEVEZETÉS

A mérnöki gyakorlat egyik legfontosabb területe a technikai eszközök javítása, karbantartása, azaz üzemeltetése. Egy üzemeltetési rendszer irányításának hatékonyságát az egységnyi üzemidőre eső karbantartási költség, kiszolgálási munkaidő javítási idő, vagy a rendelkezésre állás alapján minősíthetjük.

Az üzemeltetési rendszerek, illetve folyamatok rendszerszemléletű leírásának és matematikai modellezésének alapjai Pokorádi [7] könyvéből ismerhető meg részletesen. Pokorádi [8] publikációjában javasolt szimulációs érzékenység-elemzési eljárás alkalmas a karbantartási rendszer hatékonyságának növeléséhez szükséges döntések támogatására. Ekkor viszont fontos szempont lehet a különböző üzemeltetési rendszer, illetve folyamatjellemzők szakmaspecifikus súlyának ismerete.

Kutatási hipotézisünk, hogy az eltérő műszaki területeken a rendszert jellemző paraméterek eltérő súllyal esnek latba.

A felméréshez alkalmazott Guilford-féle páros összehasonlító módszer elméleti leírásai és gyakorlati alkalmazási lehetőségeit Kavas [3]; Kende és Seres [4], Kiss [6], valamint Kindler és Papp [5] munkái írják le. A Guilford-féle eljárás a standardizált normál eloszlást használja a transzformálás során, technikailag pedig a páros összehasonlítás módszerét.

Kavas szerint a több-szempon্তু döntési feladatok megoldásakor az egyik lényeges elem az értékelési szempontok fontossági sorrendjének minél pontosabb meghatározása, vagy másképpen a fontossági sorrend súlyozása. A szempontrendszer kialakítása folyamatában a szem-

pontokhoz tartozó konzisztencia meghatározása az egyik legfontosabb és legnehezebb feladat. A komplex adatértékelés elképzelhetetlen súlyozási lépések végrehajtása nélkül, mert a legjobb döntési alternatíva mellett a lehetséges választások rangsora is kialakítható [3].

Kavas megfogalmazásában mind alkalmazhatóság, mind megbízhatóság, pontosság szempontjából a Guilford-féle eljárás a legelfogadottabb [3]. Egyszemélyes döntéshozatal esetén nem javasolt a módszer alkalmazása, csoportos munkamódszernél is követelmény a nem teljes egyetértés teljesülése. Nagy előnye továbbá, hogy az elemző, összehasonlító munkát csupán az összevetendő tényezők párosaiban szükséges elvégezni, a súlyszámok már automatikusan adódnak az eljárás lépéseinek során. A Guilford- eljárást minimum 5 fős csoport létszám esetében ajánlatos alkalmazni.

Kende és Seres matematikailag és pszichológiailag a legmegalapozottabbnak szintén a Guilford eljárást tartják. Tanulmányukban a módszer haditechnikai K+F területen történő alkalmazását mutatják be [4], oktató jelleggel.

Jelen dolgozatunk célkitűzése fentiekben megfogalmazott hipotézisünk igazolása, azaz – az ismertetett irodalmakra támaszkodva – meghatározni, hogy a különböző területeken dolgozó karbantartó szakemberek véleménye szerint a vizsgált karbantartási, javítási szempontok milyen sorrendű és arányú fontossággal bírnak.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a páros összehasonlítás módszerét mutatja be, röviden. A 3. fejezetben az elvégzett felmérés általános ismertetése olvasható. A 4. fejezet három karbantartási terület szakembereinek szakma-specifikus véleményét tárja fel. Végezetül az 5. fejezetben a Szerzők összegzik munkájukat.

2. A PÁROS ÖSSZEHASONLÍTÁS MÓDSZERE

A páros összehasonlítás célja egy kompromisszumos döntéseken alapuló értékrend leírása, amely a vizsgált értékelési szempontok fontossági sorrendjét tükrözi. A vizsgált kérdéskör elemzésére vonatkozóan szempontokat ütköztetünk, hogy a szakemberek döntésükről egyértelműsített preferenciát alkossanak.

Az első feladat az értékelési tényezők meghatározása. Ezeket a kérdőív elkészítésekor szakmai és gyakorlati tapasztalatok alapján vesszük figyelembe. Az értékelési szempontokat figyelembe véve elkészíthető párok száma:

$$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (1)$$

ahol:

n – az értékelési tényezők száma.

A párokba rendezett értékelési tényezők alapján a szakértők az általuk fontosnak ítélt szempontokra egyértelmű szavazatot adnak. Az így elvégzett páros összehasonlítás alapján készítjük el a preferenciátáblázatot, mely egy $n \times n$ méretű mátrix. A táblázat célja, hogy az egyes értékelési tényezőkhöz súlyszámokat rendeljünk.

Több új oszlop felvezetése indokolt a preferenciátáblázathoz, amelyek segítik a további elemzést. A preferenciák gyakoriságát az a oszlopban kell összesíteni.

Több döntéshozó, véleményező esetén a súlyozott p_i preferenciaarányt a

$$p_i = \frac{a_i + \frac{m}{2}}{mn}, \quad (2)$$

ahol:

- a_i – az i -edik sorban szereplő főszempont preferenciagyakorisága;
 m – szakemberek száma.

A következő oszlopban a preferenciaarányokat a standard normál eloszlás úgynevezett u értékeire transzformáljuk az alábbi összefüggés alapján

$$p_i = \Phi(u_i) \quad , (3)$$

Annak érdekében, hogy egy 0 kezdőpontú és 100 végpontú skálán értékelhessük a kapott eredményeket, a következő transzformációt kell elvégezni:

$$Z_i = 100 \frac{u_i - \min(u_i)}{\max(u_i) - \min(u_i)} \quad , (4)$$

Az adatok kiértékeléséhez és a diagramok illusztratív ábrázolásához szükséges a súlyszám-meghatározás:

$$S_i = 0,1 + \frac{0,1 \cdot Z_i}{25} \quad , (5)$$

Az S értékek oszlopa után egy S^* nevű oszlop felvételét tettük meg, melybe az

$$S_i^* = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad , (6)$$

egyenlettel meghatározható úgynevezett normált súlyértékeket határoztuk meg az eredmények további felhasználása érdekében.

3. A SZAKEMBEREK VÉLEMÉNYÉNEK ELEMZÉSE

A felmérés elvégzéséhez egy kérdőívet készítettünk, melyet eljuttattunk különböző területein dolgozó karbantartó szakemberekhez egy web-címen keresztül.

A kérdőív első kérdése a szakemberek szakterületenkénti csoportosításához szükséges. A többi kérdése tulajdonképpen ugyanazt az egy, a véleménynyilvánítás rangsorolását lehetővé tevő kérdést tettük fel. A rangsorolandó szempontok az alábbiak voltak:

- ☞ az eszköz (üzemképes) rendelkezésre állása: F_1 ;
- ☞ karbantartási, javítási költség: F_2 ;
- ☞ karbantartási, javítási (munkaórán kifejezett munkaigény) : F_3 ;
- ☞ karbantartási, javítási (naptári) időigény: F_3 .

Vizsgálatunk első szakaszában a kérdőív kitöltésben összesen 129 karbantartó szakember vett részt az ország ipari és szolgáltatói szektoraiból.

Az ön szervezete melyik alábbi kategóriába sorolható? *

- ☐ termelő vállalat
- ☐ villamos erőmű
- ☐ vasúti közlekedés
- ☐ légi közlekedés
- ☐ közúti (városi) közlekedés

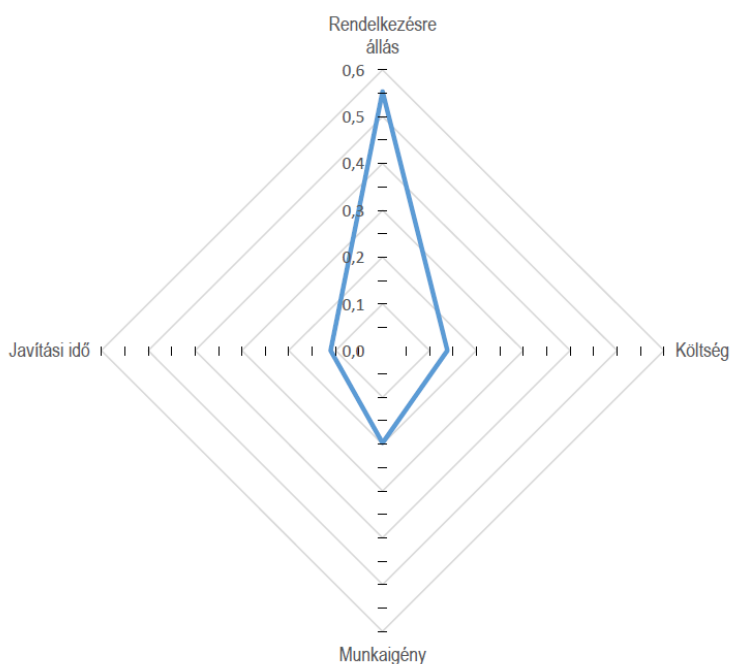
Az alábbi két szempont közül melyiket tartja fontosabbnak a karbantartás-javítás hatékonyságának megítélése szempontjából? *

- ☐ az eszköz (üzemképes) rendelkezésre állása
- ☐ karbantartási, javítási költség

1. ábra A kérdőív részlete

1. Táblázat Kitöltött preferencia táblázat

	F_1	F_2	F_3	F_4	a	a^2	p	u	Z	S	S^*
F_1	0	122	107	114	343	117649	0,78973	0,8055	100	0,5	0,5537
F_2	7	0	64	67	138	19044	0,39244	-0,273	6,205	0,1248	0,1382
F_3	22	65	0	82	169	28561	0,45252	-0,1193	19,57	0,1783	0,1974
F_4	15	62	47	0	124	15376	0,36531	-0,3443	0	0,1	0,1107
Σ	44	249	218	263	774	180630	—	—	—	0,9031	1



2. ábra. A szempontok fontosságának normált súlyértékei

A 2. ábra sugár diagramja alapján kijelenthető, hogy a karbantartó szakemberek véleményének kiemelkedően a rendelkezésre állás a legfontosabb szempont. A karbantartás-javítás hatékonyságának megítélése szempontjából elmondható, hogy az „átlagos” szakember ezt a szempontot tartja elsődlegesnek. Az összesített elemzés során kapott preferencia arányoktól egyes területekhez tartozó karbantartó szakemberek véleményei eltérhetnek. A következő fejezetben erre fogunk példákat mutatni.

4. A SZAKTERÜLETEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

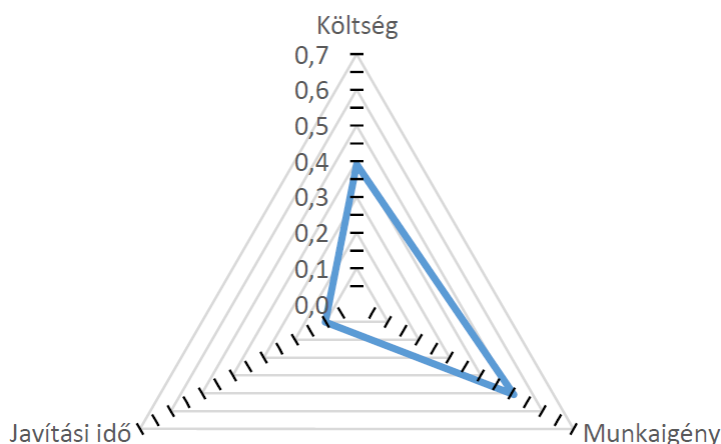
Tekintettel, hogy a legtöbb szavazatot az eszköz üzemképes rendelkezésre állása kapta, így a szakterületek összehasonlítása során ezt a szempontot nem vettük figyelembe. Így az F_1 szempont kimarad a szempontpárok összehasonlításából.

4.1. Termelő vállalatok karbantartása

A termelő vállalatok esetén a karbantartásra, javításra fordított munkaórák számítanak a leglényegesebb szempontnak. Ezeknek a szakembereknek a második legfontosabb célja is az, hogy a javítási költségeket minél alacsonyabb szinten tarthassák. Jelentősen „lemaradva”, legutoljára a javítás naptári időben kifejezhető időigény fontosságát sorolták.

2. Táblázat Kitöltött preferencia táblázat termelő vállalatok esetén

	F_2	F_3	F_4	a	a^2	p	u	Z	S	S^*
F_2	0	15	16	31	961	0,523	0,0577	71,43	0,3857	0,3913
F_3	14	0	21	35	1225	0,569	0,1737	100	0,5	0,5072
F_4	13	8	0	21	441	0,408	- 0,2326	0	0,1	0,1014
Σ	27	23	37	87	2627	–	–	–	0,9857	1



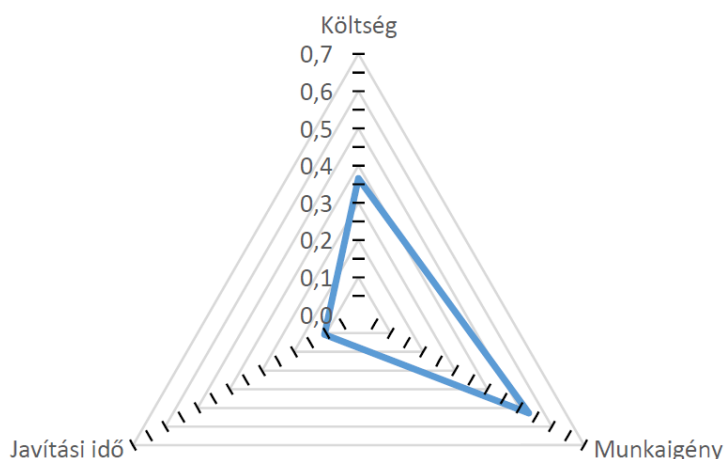
3. ábra A szempontok fontosságának normált súlyértékei termelő vállalatok esetén

4.2. Erőművek karbantartása

Az erőművekben dolgozó karbantartó szakember számára szintén a munkaórán kifejezett munkaigény a leginkább preferált karbantartási, javítási szempont. Számukra második helyen a javítások anyagi vonzata található. Az itt dolgozó döntéshozók a beérkezett szavazatok alapján szintén a javítás időkiesésére a legkevésbé érzékenyek.

3. Táblázat Kitöltött preferencia táblázat erőművek esetén

	F_2	F_3	F_4	a	a^2	p	u	Z	S	S^*
F_2	0	8	10	18	324	0,5196	0,0492	61,543	0,3462	0,3659
F_3	9	0	14	23	529	0,6176	0,2993	100	0,5	0,5284
F_4	7	3	0	10	100	0,3627	- 0,3511	0	0,1	0,1057
Σ	16	11	24	51	953	–	–	–	0,9462	1



4. ábra A szempontok fontosságának normált súlyértékei erőművek esetén

A javítási idő legkisebb értékessége az egyes rendszerek tartalékképzésének módjából adódik. Minden olyan rendszer, amely az erőmű üzem- vagy termelésbiztonságra hatással van, rendelkezik beépített meleg vagy hideg tartalékkal. A tartalékok száma az adott részrendszer funkciójától függ. Ha csak termelésbiztonsági szerepe van, akkor jellemzően csak egyszeres tartalék áll rendelkezésre, ha viszont az üzembiztonságra van hatással, akkor kettő vagy esetleg három tartalék berendezés vagy ág is rendelkezésre áll. A jó tartalékképzés elve, hogy a tervezők figyelembe veszik a rendszer vagy berendezés karbantarthatóságát is a tervezés során. Jelen erőmű tervezésekor ez többnyire sikerült, ezért nem elsődleges szempont a javítási idő. Természetesen a tartalékképzés ezen elve alapján a karbantartások rendelkeznek javítási idő korláttal, azaz a karbantartási idő nem lehet végtelen, mert a javítás idejére csökken az üzem vagy termelésbiztonság.

A karbantartó szakemberek elsődleges leterheltségét a munkaigény határozza meg, mert a munkaigény az adott karbantartási feladat bonyolultságát tükrözi vissza. Minél bonyolultabb egy karbantartás, annál nagyobb a munkaigény, az elvárt szakmai tudás és gyakorlat és ennek következtében az egyéni leterheltség is. Bonyolult, karbantartás igényes feladatoknál a munkafeltételek, a karbantartási technológiák, a tartalék alkatrészek biztosítása, a karbantartás utáni üzembe helyezések komplex látásmódot és összetettebb tevékenységeket tartalmaznak, ezért a szakemberek az egyszerű karbantartási műveleteket preferálják.

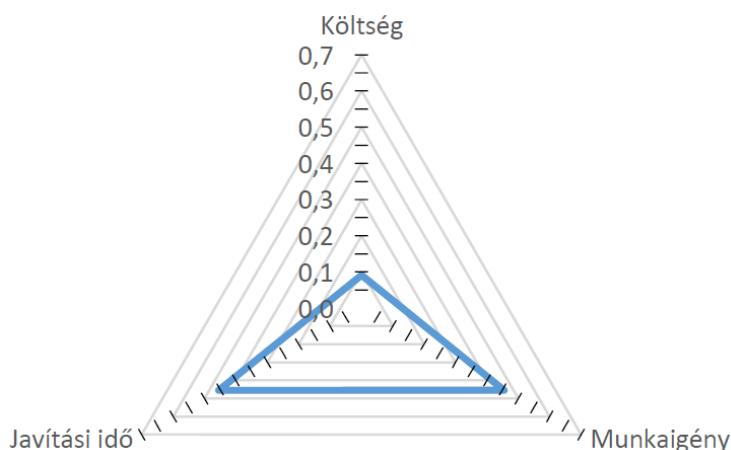
A karbantartási költségekre való érzékenysége a karbantartó szakembereknek egyértelmű, hiszen az erőmű által megtermelt villamos energiát a villamos energia piacon kell eladni, ahol az alacsony önköltség egyértelmű előnyt biztosít, amit nagymértékben befolyásol a karbantartási költség. A karbantartási költség és a munkaigény egymáshoz képesti aránya abból adódik, hogy a munkaigény az egyén szintjén, direkt módon, míg a költség áttételesen csak a versenyképességen keresztül jelenik meg.

4.3. Repülőtechnika karbantartása

Az előző területekhez képest jelentősen eltérő mutatók születtek a légi közlekedés területén. Elmondható, hogy számukra a munkaigény mellett ugyanolyan súllyal releváns a karbantartás, javítás minél rövidebb idő alatt történő elvégzése. Ez a két szempont a repülés bármely területén dolgozó szakembernek és döntéshozóiknak kiemelkedően fontos, míg a rájuk szánt költségeket kevésbé relevánsnak jelölték meg, ezt mutatja, hogy ez utóbbi súlyozott értéke ötödét teszi ki az előző két szempontnak.

4. Táblázat Kitöltött preferencia táblázat repülőtechnika esetén

	F_2	F_3	F_4	a	a^2	p	u	Z	S	S^*
F_2	0	1	2	3	9	0,367	-0,341	0	0,1	0,0909
F_3	4	0	2	6	36	0,567	0,168	100	0,5	0,4545
F_4	3	3	0	6	36	0,567	0,168	100	0,5	0,4545
Σ	7	4	4	15	81	–	–	–	1,1	1



5. ábra A szempontok fontosságának normált súlyértékei légi járművek esetén

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatunk során a karbantartó szakemberek véleményének összehasonlítását és elemzését végeztük el. Jelen publikációnkban csak három részterület eredményeit mutattuk be, terjedelmi okok miatt.

A 3. 4. és 5. ábrák összevetéséből egyértelműen jelentős különbség látszik a különböző karbantartási területek szakembereinek gondolkozásában. Mindegyik terület karbantartói számára fontos kérdés a javítás – munkaóránban meghatározott – munkaigénye. Míg a repülő-

műszakiak legfontosabb feladatuknak az időben mielőbbi hibajavítást tartják, addig a termelő vállalatok és erőművek karbantartóit már sokkal jobban érdekli a felmerülő költség kérdése.

Miért lehet ez fontos számunkra?

Például egy új javítási technológia esetén nem mindegy a két terület karbantartói számára, hogy a javítási munkaigényen túl a költség vagy a javítás naptári ideje lesz kevesebb. Adott esetben, a több lehetséges javítási technológia, vagy javítási munka-szervezés közül a szakterületek igénye alapján más és más lesz az ideális választás.

Más megfogalmazásban, elemzésünkkel kimutattuk, hogy az itt bemutatott három szakterület számára optimális javítási technológia nem egyezik meg.

A teljes elemzésünk eredményeit további kutatásaink során tervezzük felhasználni, amikor a szakterületek – már ismertté vált – fontossági arányaik alapján, úgynevezett súlyozott érzékenységvizsgálattal rangsoroljuk a lehetséges javítási technológiákat.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ÁGOSTON, G.:** *Karbantartó szakemberek véleményének elemzése páros összehasonlítás módszerével* TDK dolgozat OE. BGK, Budapest, 2016. (Konzulens: Pokorádi László)
- [2] **ÁGOSTON G., POKORÁDI, L.:** *Karbantartó szakemberek véleményeinek elemzése, A XXII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai*, 2017. pp. 59-62.
- [3] **KAVAS, L.:** *A súlyszámok problematikája komplex rendszerek értékelése során*, 2007
- [4] **KENDE, Gy., SERES Gy.:** *A haditechnikai K+F támogatása szakértői rendszerekkel* <http://drseres.com/tavoktatas/fejezetek/11/szakerto.htm> [2016.11.08]
- [5] **KINDLER, J., PAPP. O.:** *Komplex rendszerek vizsgálata, összemérési módszerek*, 1977.
- [6] **KISS, F.:** *Analitikus hierarchia eljárás, Módszertani alapok, algoritmus és számpélda*, 2009
- [7] **POKORÁDI, L.:** *Rendszerek és folyamatok modellezése*, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.
- [8] **POKORÁDI, L.:** *Karbantartási folyamatok szimulációs elemzési módszerei*, In: *Bodzás Sándor (szerk.) Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016.*, 2016. pp. 519-536.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány az Óbudai Egyetem Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely – µßσ – keretében készült.



KANONIKUS RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁG ELEMZÉSI MÓDSZEREINEK SZEMLELTETÉSE

DEMONSTRATION OF RELIABILITY INVESTIGATION OF CANONIC SYSTEM

POKORÁDI László¹, FARKAS Levente²

¹ egyetemi tanár, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

¹ Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, Óbudai Egyetem

² BSc hallgató, leventefarkas@freemail.hu

² Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely, Óbudai Egyetem

Kivonat: Fontos műszaki kérdés a berendezések, rendszerek megbízhatósága, illetve annak megfelelő szintű elemzése. Az Óbudai Egyetem Műszaki Karán folyó Műszaki megbízhatóság és Mechatronikai szerkezetek megbízhatósága tantárgyak oktatása során hangsúlyosan kezeljük a technikai rendszerek megbízhatóságának elemzését. A Szerzők célja egy, mindenki által érthető, egyszerű, példán keresztül bemutatni ezen vizsgálati eljárásokat – a Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely keretében. Jelen tanulmányunk az előzőekben leírt munkáink eredményeit hivatott bemutatni.

Kulcsszavak: megbízhatóság; meghibásodási valószínűség; kanonikus rendszerek; Monte-Carlo szimuláció

Abstract: One of the most important tasks of the technical safety science is the reliability investigation of used systems and technological processes. At the Institute of Mechatronics and Vehicle Engine of Óbuda University, the teaching of reliability analysis methods is important part of Technical Reliability and Reliability of Mechatronic Structures disciplines. The main aim of authors is demonstrating these analytical tools through simple, easy-to-understand examples – within the Student Workshop of Technical Safety Sciences. This paper aims to present the results of our work described above.

Keywords: Reliability; Probability of Failure; Canonic Systems; Monte-Carlo Simulation

1. BEVEZETÉS

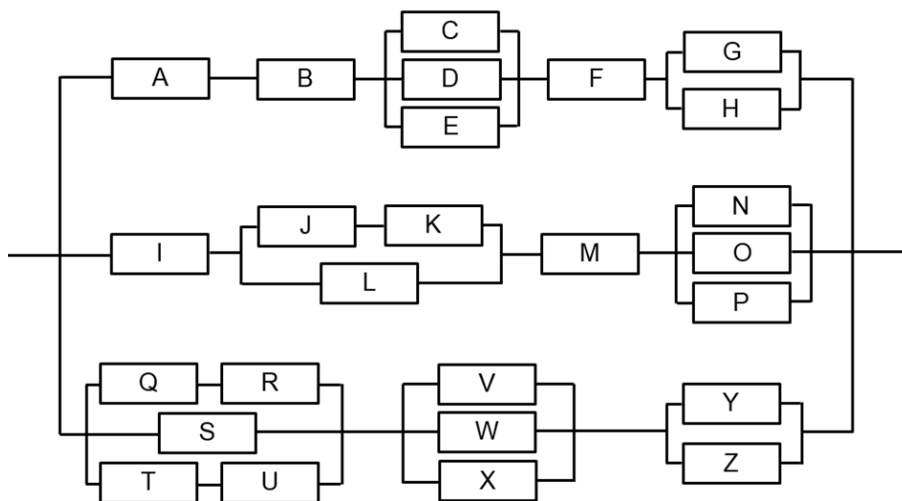
A műszaki gyakorlatban jelentős szerepet játszik a különböző rendszerek megbízhatósági vizsgálata [1]. Egy helyesen megalkotott megbízhatósági modell segítségével gyakran előre kiszűrhetők az üzemeltetés során várhatólag fellépő műszaki hibák. A megbízhatósági elemzés lényeges tulajdonsága, hogy ezeket a modelleket vizsgálva megállapítsuk egy rendszer vagy folyamat várható élettartamát, illetve meghibásodási valószínűségét. A kanonikus rendszerek és az elemek vizsgálatakor „csak” két üzemállapotot különböztetünk meg [1]: *üzemképes* vagy *üzemképtelen*. Ekkor nem vizsgáljuk külön a lehetséges meghibásodások módját. Nem elemezzük azt például, hogy egy hálózatba kapcsolt számítógép a processzora vagy a tápegysége miatt hibásodott meg.

Munkánk célja egy olyan mintapélda-sorozat kidolgozása volt, mely segítségével könnyen tudjuk szemléltetni a nem komplex kapcsolatú kanonikus rendszerek megbízhatóságának különböző elemzési módszereit.

Első lépésként egy rendszert „hoztunk létre”. A vizsgált rendszer 26 elemet tartalmaz, melyeket az angol ábécé nagybetűi jelképeznek A-tól Z-ig. Ezért kapta – Tráj Krisztina jóvoltából – az „*Ától Zéig*” nevet. A rendszer megbízhatóság szempontjából soros és párhuzamos részrendszereket, ágakat, blokkokat vegyesen tartalmaz (lásd 1. ábra).

Tanulmányunk az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a blokk-diagram elemzést írja le. A

3. fejezet a hibafa elemzést mutatja be. A 4. fejezet megbízhatóság-érzékenységi vizsgálatokra világít rá. Az 5. fejezet a logikai Monte-Carlo szimulációt ismerteti. A 6. fejezetben összegzik munkájukat és jövőbeli kutatási terveiket körvonalazzák a Szerzők.



1. ábra. Az Ától Zéig rendszer (forrás: [3])

2. A BLOKK-DIAGARAM ELEMZÉS

A blokk-diagram megbízhatóság-elemző módszer a rendszert alkotó elemek megbízhatósági kapcsolatát ábrázolja és a teljes rendszer működőképességére gyakorolt hatását mutatja be. Az egyes elemek megbízhatóságából határozható meg a rendszer megbízhatósága. Az elemek egymáshoz való kapcsolata alapján alapvetően megkülönböztethetünk soros és párhuzamos felépítésű rendszereket [4].

Sorosnak nevezzük azt a rendszert, amelyikben bármelyik elem meghibásodása a rendszer üzemképtelenségét okozza. Megbízhatósága az

$$R = \prod_{i=1}^n r_i \quad , \quad (1)$$

formulával számolható, ahol:

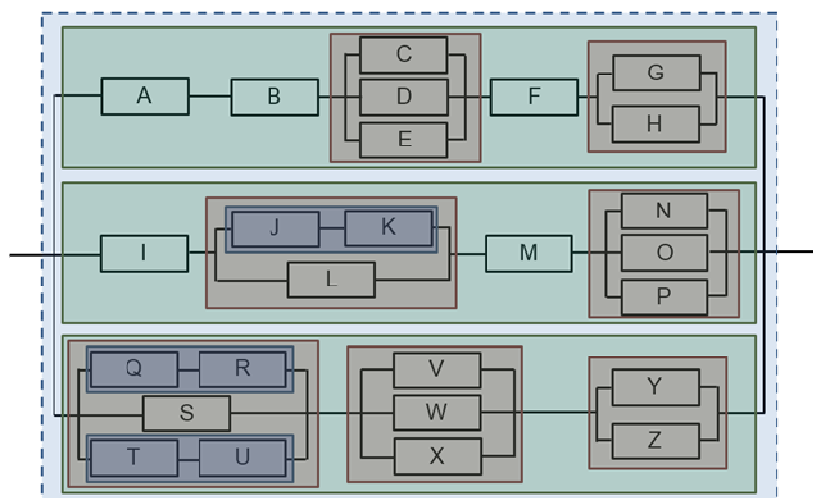
- r_i – az i -edik elem megbízhatósága;
- n – az elemek száma.

Párhuzamosnak nevezzük azt a rendszert, amelyik mindaddig üzemképes, amíg egyetlen eleme is még működőképes. Megbízhatósága az

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i) \quad , \quad (2)$$

módon határozható meg.

Vegyes kapcsolat esetén a rendszer ágait lebontjuk kisebb alrendszerekre, és a fenti két egyenlet valamelyikét használjuk, amíg el nem jutunk a teljes rendszer megbízhatóságáig. Példának erre használjuk a korábban „elkészített” Ától Zéig rendszer ilyen irányú felbontását, mely a 2. ábrán látható.



2. ábra. Az Ától Zéig rendszer megbízhatósági rétegei (forrás: [1])

Az egyes elemek megbízhatóságj értéke: 0,9																											
I. réteg	A teljes rendszer megbízhatósága 0,999162375																										
II. réteg	1 0,72098829									2 0,79381539									3 0,985439674								
III. réteg	11 0,999					12 0,99				21 0,981					22 0,999				31 0,99639				32 0,999			33 0,99	
IV. réteg										211 0,81							311 0,81			312 0,81							
Elemek	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	

3. ábra. Az Ától Zéig rendszer megbízhatósági elemző táblázata (forrás: [1])

Terjedelmi okokból a számítási menetet nem írjuk le. A tanórai szemléltetés hatékonyabb, ha számítógépet használunk a kalkuláció elvégzésére. Munkánk során egy *.xls file-t készítettünk. A képernyőről készült felvétel ($r_i = 0,9$) a 3. ábrán látható.

3. HIBAFÁ-ELEMZÉS

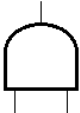

A hibafa-elemzés egy olyan rendszerelemző módszer, amit a rendszer-meghibásodás kiváltó okainak felderítésére alkalmazunk. Az eljárást a Bell társaság használta elsőként [1].

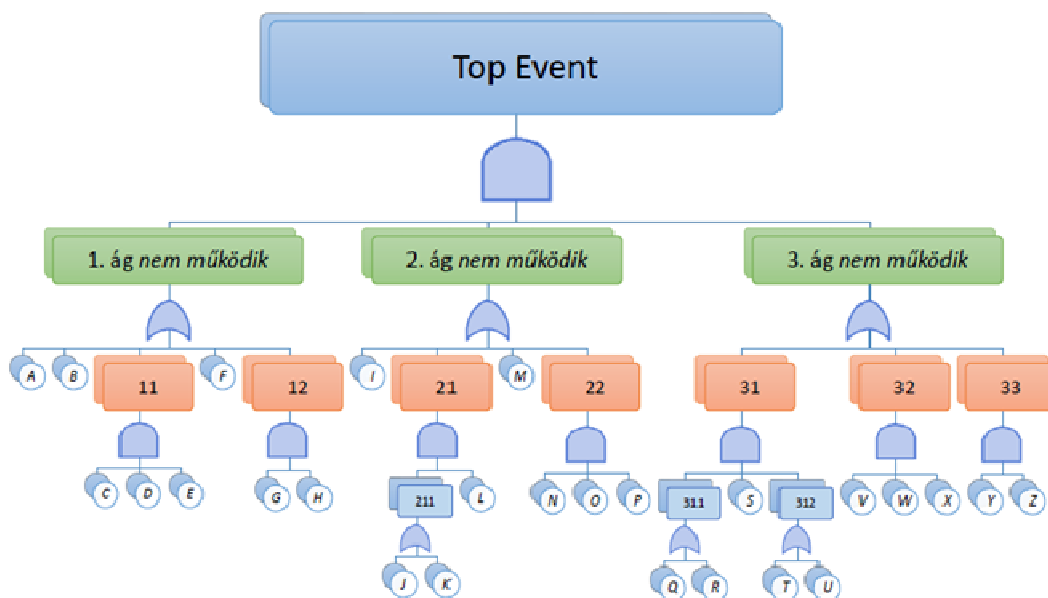
A hibafa-elemzés során egy főeseményből (a Top Event-ből) indulunk ki. Az elemzés során fokozatosan derítjük fel a fő eseményt kiváltó okokat, amelyek – téglalappal jelölt – közbülső eseményeket alkotnak, és tovább bonthatók. Egészen addig, amíg meg nem kapjuk a tovább nem bontható – körrel ábrázolt – elemi eseményeket. A grafikus felírásakor egy fa gráfot kapunk. Az elkészült hibafa vizuálisan is segíti az elemző munkát, hiszen az egyes objektumok közötti kapcsolat jól láthatóan jelenik meg.

Az elemzés esetén használt főbb logikai kapukat az 1. Táblázat tartalmazza, ahol: p_i – az i -edik kiváltó esemény bekövetkezési valószínűsége; n – a kiváltó események száma.

Az Ától Zéig rendszer hibafája, amit a 4. ábrán, míg a szemléltető számítási tábla az 5. ábrán látható.

1. Táblázat A Hibafa elemzés főbb logikai kapui

Grafikus jel	A jelölés megnevezése és leírása	Meghatározás
	ÉS kapu A kimeneti esemény csak akkor következik be, hogyha az összes bemeneti esemény bekövetkezik.	$P = \prod_{i=1}^n p_i$ (3)
	VAGY kapu A kimeneti esemény csak akkor következik be, hogyha a bemeneti események bármelyike bekövetkezik.	$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$ (4)



4. ábra. Az Ától Zéig rendszer hibafája (forrás: [3])

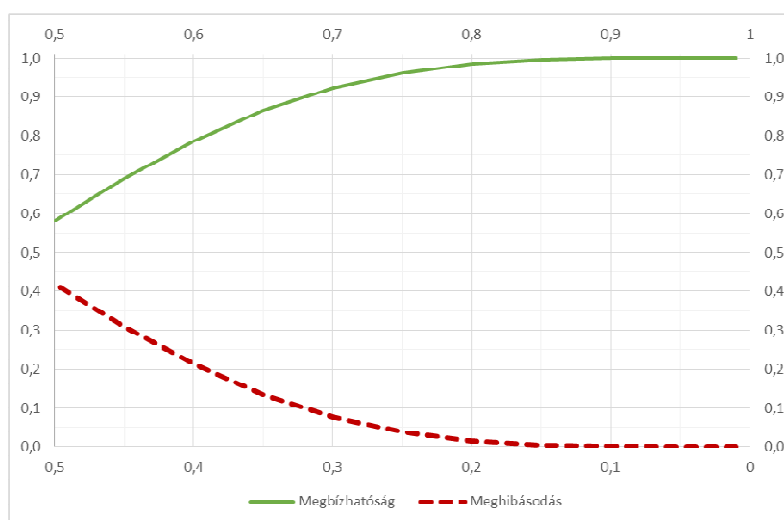
Az egyes elemek meghibásodási valószínűsége: 0,1																													
I. réteg	A teljes rendszer meghibásodási valószínűsége 0,000837625																												
II. réteg	1 0,27901171									2 0,20618461									3 0,014560326										
III. réteg	11 0,001					12 0,01				21 0,019					22 0,001				31 0,00361					32 0,001				33 0,01	
IV. réteg										211 0,19								311 0,19			312 0,19								
Elemek	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z			
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			

5. ábra. Az Ától Zéig rendszer meghibásodási valószínűségét elemző táblázat (forrás: [3])

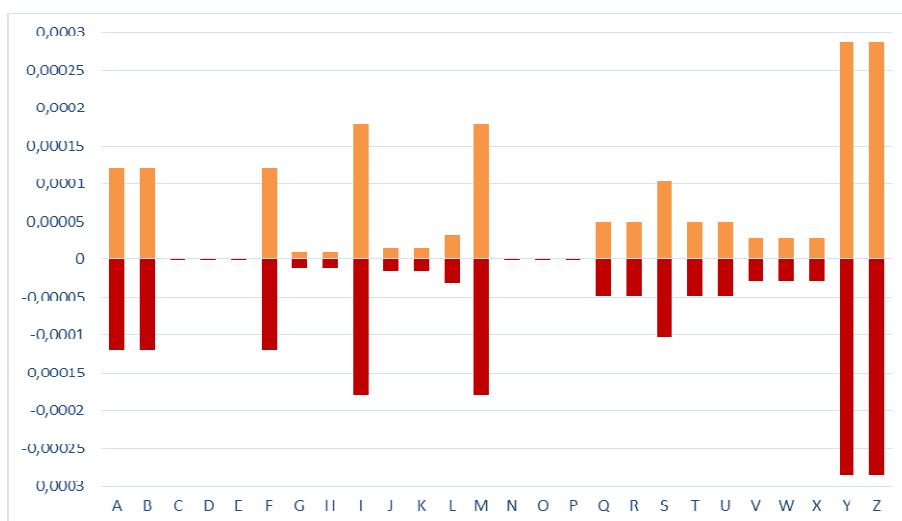
4. MEGBÍZHATÓSÁGI MODELLEK ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA

Az érzékenységelemzés célja modell-szimuláció segítségével meghatározni, hogy az adott bemenő jellemzők értékeinek (esetünkben a rendszerelemek megbízhatóságai) változására hogyan reagál, milyen mértékben és előjellel érzékeny a rendszer kimenő (a teljes rendszer megbízhatósága) jellemzője [6].

Első lépésként a 3. és 5. ábrán látható táblázatokat alkalmaztuk különböző, de minden elemnél ugyanakkora megbízhatósági, illetve meghibásodás-valószínűségi értékekkel. Ennek eredményeit foglalja össze a 6. ábrán látható grafikon. Az ábrán a felső tengelyen található a megbízhatóság, az alsó tengelyen a meghibásodási valószínűség.



6. ábra. A rendszer megbízhatóság, illetve üzemképtelenségi valószínűség változása az elemek megbízhatóságának, illetve meghibásodási valószínűségének függvényében



7. ábra A rendszer megbízhatóság és meghibásodás valószínűségének érzékenysége $r_{i0} = 0,9$ és $\Delta r_i = 0,05$ esetén (forrás: [2])

Következő lépésben mindig csak egy elem megbízhatóságát, illetve meghibásodási valószínűségét változtatva vizsgáltuk a teljes rendszer megbízhatóságát, illetve működésképtelenségének valószínűségét. Ezek az eredmények láthatók a 7. ábrán arra az esetre, amikor az elemek kiindulási megbízhatósága $r_{i0} = 0,9$ és a vizsgált elemek megbízhatóságainak változása $\Delta r_i = 0,05$.

Az elvégzett érzékenységelemzések alapján az alábbi következtetések vonhatók le [2]:

- a. A meghibásodási eredménynek követni kell a megbízhatóság mintáját, hiszen a meghibásodási valószínűség „kiegészíti egyre” a megbízhatóságot, azaz:

$$R + P = r_i + p_i = 1 \quad , (5)$$

A fenti összefüggés grafikonnal is bizonyítható. Ebből az következik, hogy a kanonikus elemekből felépített rendszer is kanonikus marad.

- b. A megbízhatósági érzékenység és a meghibásodási valószínűségre vonatkozó érzékenység abszolút értékben megegyeznek, de előjelük ellentétes. Ezt szemlélteti a 7. ábra.
- c. A fenti két megállapításból levonható, hogy elegendő csak az egyik érzékenységvizsgálatot elvégezni.
- d. Az *Y* és a *Z* elemek megbízhatóságának változására legérzékenyebb a teljes rendszer megbízhatósága.

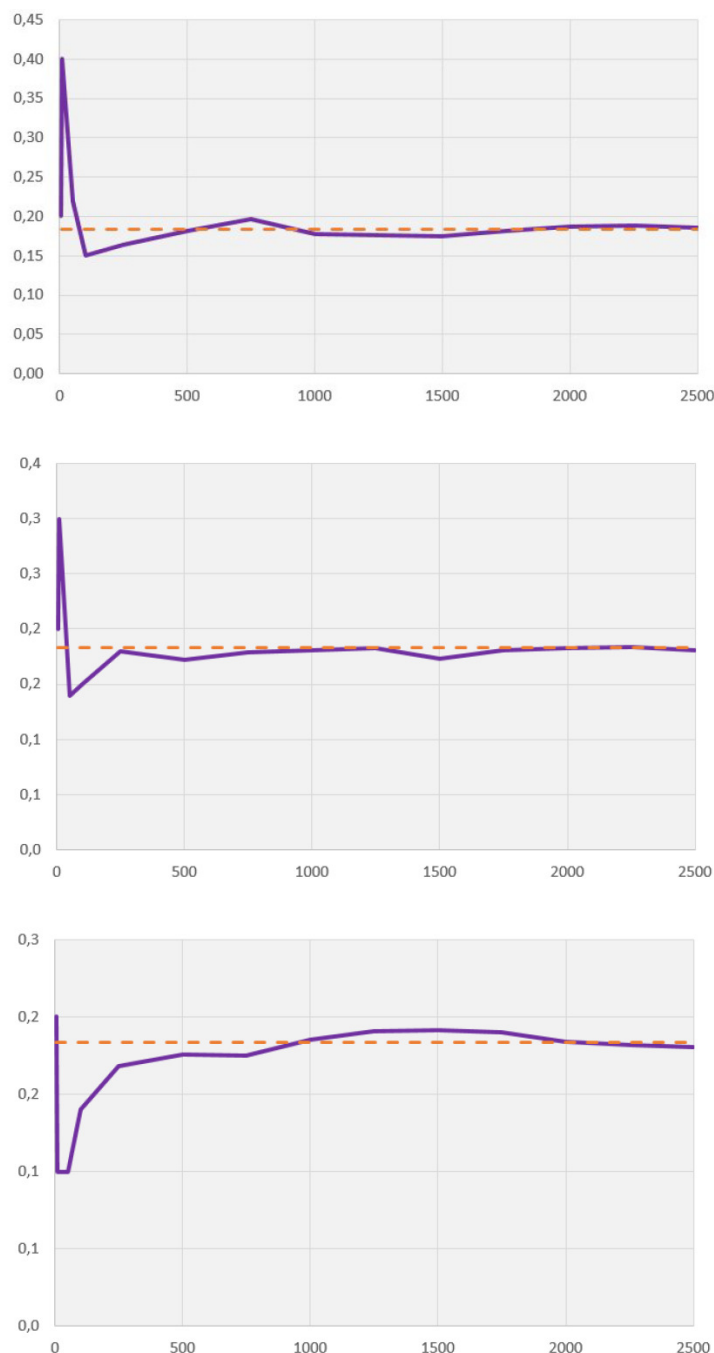
5. A LOGIKAI MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓ

Szimulációról akkor beszélünk, amikor egy folyamat vagy rendszer vizsgálata helyettesítő modell segítségével történik [6]. A Monte-Carlo szimuláció egy széles körben elterjedt numerikus kockázatelemző módszer, amely véletlen számok generálásán alapul. A módszer ma ismert formáját Stanisław Ulem és Neumann János dolgozta ki az 1940-es évek végén. Nevét a kaszinóiról híres Monte-Carlo városról kapta, ezzel utalva a véletlen eseményeken alapuló eljárás lényegére. A Monte-Carlo-szimuláció során a modellhez szükséges kiindulási adatokat egy meghatározott eloszlás szerint véletlenszerűen generáljuk.

A szimuláció során a rendszer mindegyik eleméhez – egyenletes eloszlást feltételezve – véletlenszerűen generáltunk 0 és 1 között egy számot. Majd a megadott p meghibásodási valószínűség alapján eldöntöttük, hogy az elem működik vagy sem. Ezután a korábban már bemutatott hibafa elemzés logikai összefüggései (kapui) alapján meghatározzuk, hogy a teljes rendszer működőképes-e vagy sem.

Az esemény számának emelésével a pontosság növelhető. Az elkészített *.xls táblázat segítségével 2500 darab, egymástól független esetet generáltunk, és az így kapott eredményeket grafikonon ábrázoltuk [5].

A 8. ábra több szimuláció eredményeit ($p_i = 0,3$) szemlélteti, ahol a szaggatott vonalak a valószínűség-számítással meghatározott értéket szemlélteti. Mindegyik grafikonon jól látszik, hogy – eltérő jelleggel, de – a gerjesztés-szám növelésével a szimulációs eredmények aszimptotikusan közelítik a valós értéket.



8. ábra. Hibafa logikai Monte-Carlo szimulációs eredményei $p_i = 0,3$ esetén (forrás: [5])

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi években az Óbudai Egyetem Mechatronikai és Járműtechnikai Intézetében intenzív tudományos kutató munka folyik újabb műszaki megbízhatósági elemző eljárások kidolgozásával kapcsolatban. Ezzel egy időben fontos feladatként fogalmazódott meg a – Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely keretében – ezen eljárások hatékony szemléltetésére a Műszaki megbízhatóság és Mechatronikai szerkezetek megbízhatósága tantárgyak oktatásakor.

A Szerzők további munkájuk során olyan tanulmányok és szoftverek elkészítését tűzték ki céljukként, amelyek más megbízhatóság-elemzési módszerek szemléltetését segítik elő.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FARKAS, L.:** *Kanonikus struktúrák megbízhatósági elemzése*, TDK dolgozat, ÓE. BGK, Budapest, 2015. (Konzulens: Pokorádi László)
- [2] **FARKAS, L.:** *Kanonikus struktúrák érzékenységelemzése*, TDK dolgozat, ÓE. BGK, Budapest, 2016. (Konzulens: Pokorádi László)
- [3] **FARKAS, L.:** *Kanonikus struktúrák megbízhatóságának Monte-Carlo-szimulációja*, TDK dolgozat ÓE. BGK, Budapest, 2016. (Konzulens: Pokorádi László)
- [4] **FARKAS, L., POKORÁDI, L.:** *A blokk-diagram és a hibafa-elemzés kapcsolata*, A XXI. Fiatal Műszaki Tudományos Ülésszak Előadásai, Kolozsvár, 2016., pp. 149-153.
- [5] **FARKAS, L., POKORÁDI, L.:** *Hibafa elemzés Monte-Carlo-szimulációja*, A XXII. Fiatal Műszaki Tudományos Ülésszak Előadásai, Kolozsvár, 2017., pp. 143-146.
- [6] **POKORÁDI, L.:** *Rendszerek és folyamatok modellezése*, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány az Óbudai Egyetem Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely – μβσ – keretében készült.



SZEMCSÉS ANYAGOK KEVERÉSI TELJESÍTMÉNYIGÉNYE KEVERŐS DOBSZÁRÍTÓBAN

DETERMINATION OF MIXING PERFORMANCE AT AGITATED DRUM DRYER

POÓS Tibor¹, TAMÁS Kornél², KATONA Márton³, HORVÁTH Dániel⁴

¹adjunktus, poos@mail.bme.hu

¹ Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

²adjunktus, tamas.kornel@gt3.bme.hu

² Gép- és Terméktervező Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

³MSc hallgató, marci.katona92@gmail.com

³Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

⁴MSc hallgató, daniel.horvath.nk@gmail.com

⁴Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kivonat: Különböző halmazállapotú anyagok, elegyek keverése gyakran előfordul a vegyiparban, a gyógyszeriparban, az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban. A keverős dobszárítóban szemcsés anyagok szárítása történik, mégpedig folyamatos keverés mellett, amelynek célja szabad szemcsefelület létrehozása annak érdekében, hogy a szárítás sebessége minél gyorsabb legyen. Méréseink során vizsgáltuk a keverős dobszárító keverési teljesítmény szükségletét különböző anyagnedvességtartalmak, fordulatszámok és töltési fokok mellett.

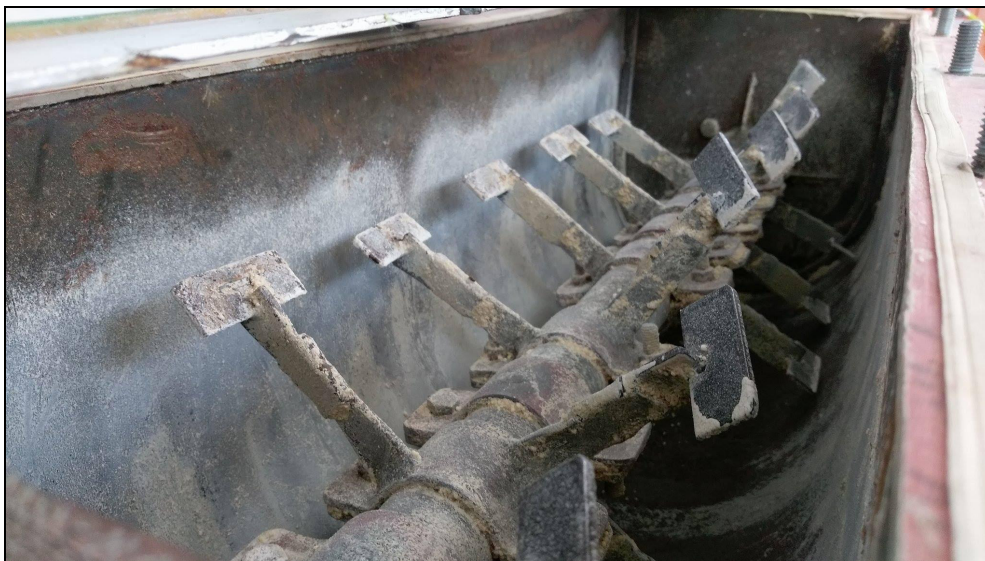
Kulcsszavak: keverős dobszárító, keverési teljesítményszükséglet, szemcsés anyag, nedvességtartalom

Abstract: The mixing of different substances and mixtures is a common procedure in the chemical, pharmaceutical, food and agriculture sectors. In the agitated drum dryer drying of granular materials occurs by continuous mixing to create a free granulate surface in order to achieve faster drying speed. During our measurements the mixing performance of the agitated drum dryer was investigated at different moisture contents, rotary speeds and degrees of filling.

Keywords: agitated drum dryer, performance, granulate, moisture content

1. BEVEZETÉS

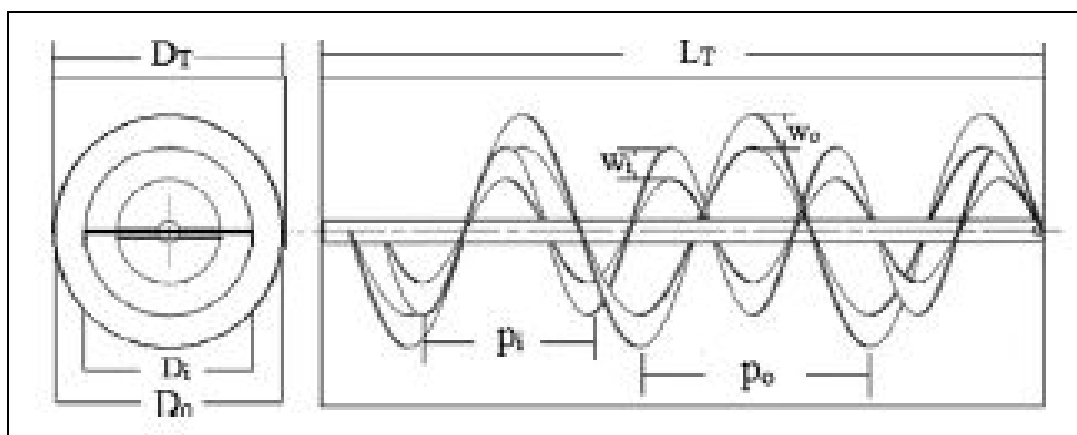
Keverős dobszárítókban történő szemcsés anyagok szárítása során szilárd-szilárd keverésről beszélhetünk. A szárítással egy időben zajló keverési folyamat célja nem csak a homogenizálás, hanem szabad szemcsefelület létrehozása a hatékonyabb szárítás érdekében. Keverős dobszárítók esetén általában homogén anyag szárítása történik. A szárítási folyamat horizontális tartályban történik, ahol a tartályon keresztül áramoltatott levegő veszi fel a szárítandó anyag nedvességtartalmát. A légáram fűtött, az áramlást pedig ventilátor biztosítja. A szárítási folyamat során a tartályban a szemcsés anyag keverése történik, a tartállyal koncentrikusan elhelyezett keverővel. A keverős dobszárítók esetében a keverőelem általában lapátos vagy spirálszalagos.



1. ábra. Keverős dobszáritó horizontális tartálya keverőlapokkal

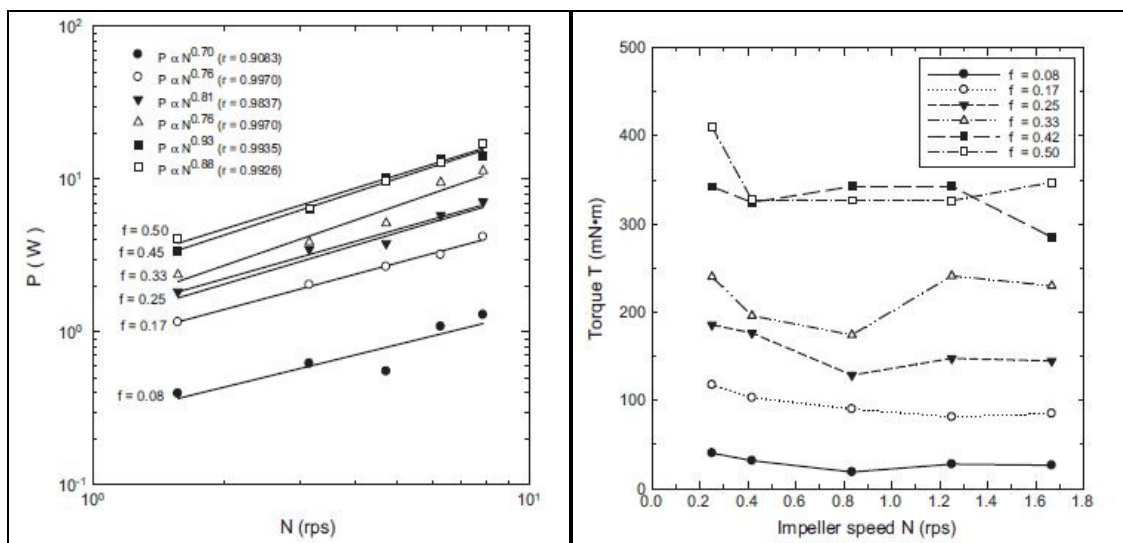
A 1. ábrán látható a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszékén található keverős dobszáritó, melyen a méréseket végeztük.

Szemcsés anyagok keverése során fellépő tengelyteljesítmény szükséglet elméleti meghatározására még nem létezik általános összefüggés. Így hasonló geometriájú keverőt vettünk alapul a kutatásunkhoz [1]. Egy dupla spirálszalagos keverőben, mely a 2. ábrán látható, kukoricakeményítő és jégcukor összekeveréséhez szükséges teljesítményigényt vizsgálták a nedvességtartalom figyelembe vétele nélkül.



2. ábra. A dupla spirálszalagos keverős berendezés sematikus felépítése [1]

A mérés során a fordulatszámot és a töltési fokot változtatva a 3. ábrán található eredményeket kapták.



3. ábra. Baloldalon a keverési teljesítmény, jobb oldalon a felvett nyomaték a fordulatszám függvényében különböző töltési fok esetén [1]

Megfigyelhető, hogy a mérés alapján a töltési fok és a fordulatszám növelésével lineárisan növekedett a keverési teljesítményigény.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A keverési teljesítmény szükséglet meghatározásakor hántolt kölest töltöttünk a keverős berendezésbe. Az anyagot a kis méretszórása, hidrophil tulajdonsága, megfelelően homogén anyagszerkezete, közel szabályos geometriája, alacsony költsége teszi alkalmassá a vizsgálatra. A köles nedvességtartalmát változtatva méréseket végeztünk keverős dobszáritóban különböző fordulatszám és töltési fok mellett.

2.1. A mérés előkészítése

A hántolt köles por és szennyeződésmentessége, illetve méretének homogenitása szélosztályozó berendezés segítségével lett biztosítva. Az anyag benedvesítésére minden egyes mérés előtt 6 órával került sor. A különböző nedvességtartalmak elérése megfelelő mennyiségű víz hozzáadásával történt. Minden mérés előtt a dobkeverő berendezés $47,1 \text{ dm}^3$ -es térfogatának 25%-ával megegyező ($11,8 \text{ dm}^3$) térfogatnyi köles lett elő készítve.

Az anyag nedvességtartalmak meghatározása szárítókemencébe helyezett kisminták segítségével történt, melynek értékeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. Táblázat A hozzáadott víz mennyisége és a nedvesség adatok

$V_{\text{víz}} [\text{dm}^3]$	0	0,5	1	1,5	2	2,5
$x [\%]$	8,9	13,9	18,4	22,5	26,3	29,7

ahol:

$V_{\text{víz}}$ – a hozzáadott víz térfogata [dm^3]

x – a nedves anyagra vonatkoztatott nedvességtartalom [$\text{kg víz/kg n.a.} \cdot 100\%$]

A mérések során a mért teljesítményekből a mechanikai veszteségek miatt kivontuk az

egyes fordulatszámokhoz tartozó üresjárási teljesítményeket. A valós keverési teljesítményadatokat az alábbi formula segítségével számítottuk:

$$P_{\text{valós}} = P_{\text{mért}} - P_{\text{ü}} , \quad (1)$$

ahol:

$P_{\text{valós}}$ – a keverésre fordított teljesítmény [W]

$P_{\text{mért}}$ – teljesítménymérő által mért teljesítmény [W]

$P_{\text{ü}}$ – üresjárási teljesítmény [W].

Innen a felvett nyomatékot az alábbi összefüggéssel számítottuk:

$$M = \frac{P_{\text{valós}}}{\omega} = \frac{P_{\text{valós}}}{2\pi n} , \quad (2)$$

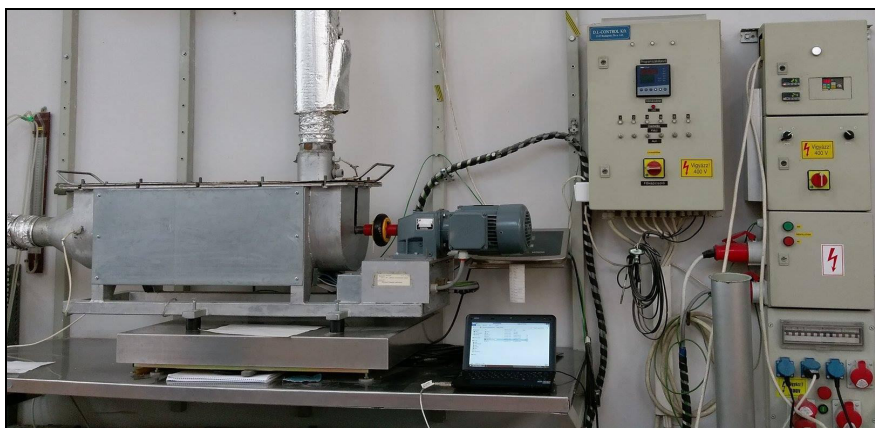
ahol:

M – keveréshez szükséges nyomaték [Nm]

ω – a tengely szögsebessége [rad/s]

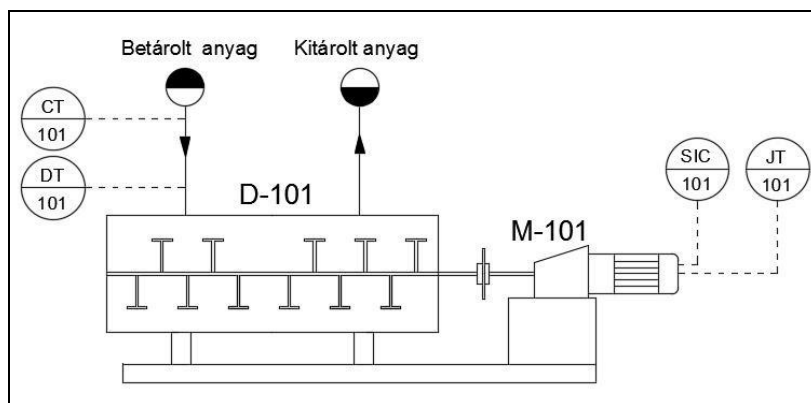
n – a tengely fordulatszáma [1/s].

2.2. Mérőberendezés ismertetése



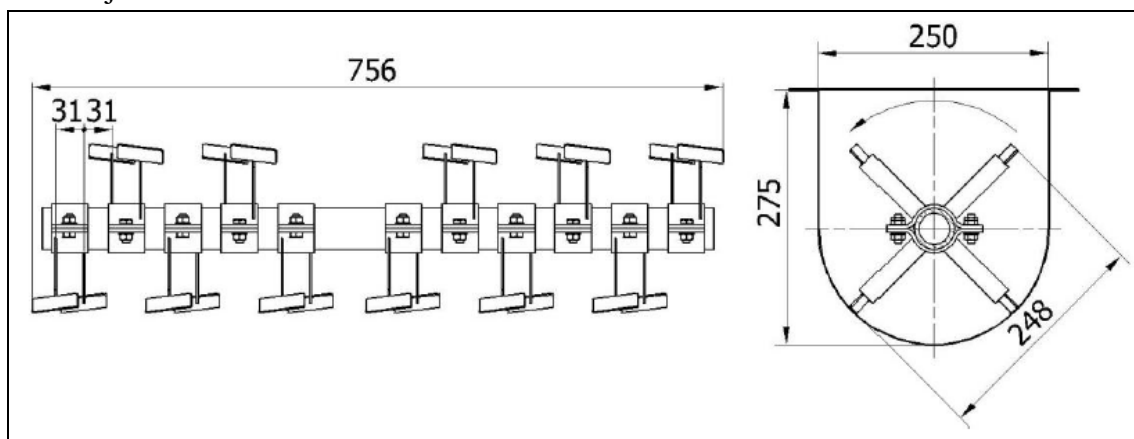
4. ábra. A mérőberendezés fényképe

A 4. ábrán látható a mérések során alkalmazott berendezés, mely egy szakaszos üzemű, vízszintes tengelyű dobszárító. A dobszárító keverőelemét hajtóműves villanymotor hajtja, melynek fordulatszáma frekvenciaváltóval állítható be 0÷50 1/min tartományban. A teljesítmény háromfázisú multifunkcionális teljesítmény távadó műszer (Datcon PQRM5100 31) segítségével számítógépen került rögzítésre. A mérés folyamatábrája az 5. ábrán látható.



5. ábra. A mérőberendezés műszerezett folyamatábrája

Az M-101-es keverő villanymotor típusa NORD Typ SK 80 L/4. A mérőberendezés központi eleme a D-101 jelű dobszáritó. A szakaszos működésű szárító 765 mm hosszú, 250 mm széles és 275 mm magas U-keresztmetszetű dobból áll, amelyet sík lemez fed. 22 db keverőlapát helyezkedik el a dob tengelyével megegyező tengelyen, amelyek felülete egyenként 32,5 cm². A dobszáritóban az anyag átmozgatását az M-101 jelű elektromos motorral hajtott speciális kialakítású keverő végzi. A motorhoz csatlakozik az SIC-101 jelű fordulatszám szabályzó, illetve a JT-101 jelű teljesítménytávadó. A CT-101 jel a bemenő anyag mért nedvességtartalmát, a DT-101 jel pedig a betárolt anyag töltési fokát jelöli. A dobszáritó keverőelemeinek elhelyezkedését, valamint a szárítóterének keresztmetszetét a 6. ábra mutatja.



6. ábra. A dobszáritó keresztmetszete és a keverő kialakítása

2.3. Mérési módszer és kiértékelés

A 2.1 alfejezetben a leírtak alapján benedvesített kölest a 2. táblázat szerint adagoltuk a keverődobba. A töltési fok mérésenként 2,36 dm³ köles hozzáadásával, 5%-os léptékkal lett emelve 25%-ig.

$$V_{\text{köles}} = \frac{\varphi}{100} \cdot V_1, \quad (3)$$

ahol:

φ – a töltési fok [%]

$V_{\text{köles}}$ – a dobban lévő köles mennyisége [dm^3]

V_T – a keverődob térfogata [dm^3]

A 2. táblázatban foglaltuk össze az keverős dobszárító töltési fokaihoz tartozó köles mennyiségét.

2. Táblázat A dobban lévő köles térfogata a különböző töltési fokok esetén

ϕ [%]	5	10	15	20	25
$V_{\text{köles}}$ [dm^3]	2,4	4,7	7,1	9,4	11,8

Egy mérési sorozat folyamán 9 különböző fordulatszám értéknél vizsgáltuk a teljesítményt, melyet frekvenciaváltóval állítottuk be.

A teljesítmény értékek másodpercenként lettek rögzítve, így az egy perc alatt összegyűjtött adatokat összesítve, az adott időszakra vonatkozó átlagteljesítményt kaptuk.

$$n = f \cdot \frac{19}{10 \cdot 60} , \quad (4)$$

ahol:

f – a frekvenciaváltó segítségével beállított frekvencia [Hz].

Az általunk beállított frekvenciákat és az abból számított tengely fordulatszámokat a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. Táblázat a fordulatszámok különböző frekvenciák esetén

f [Hz]	10	15	20	25	30	35	40	45	50
n [1/s]	0,3	0,5	0,6	0,8	1	1,1	1,3	1,4	1,6

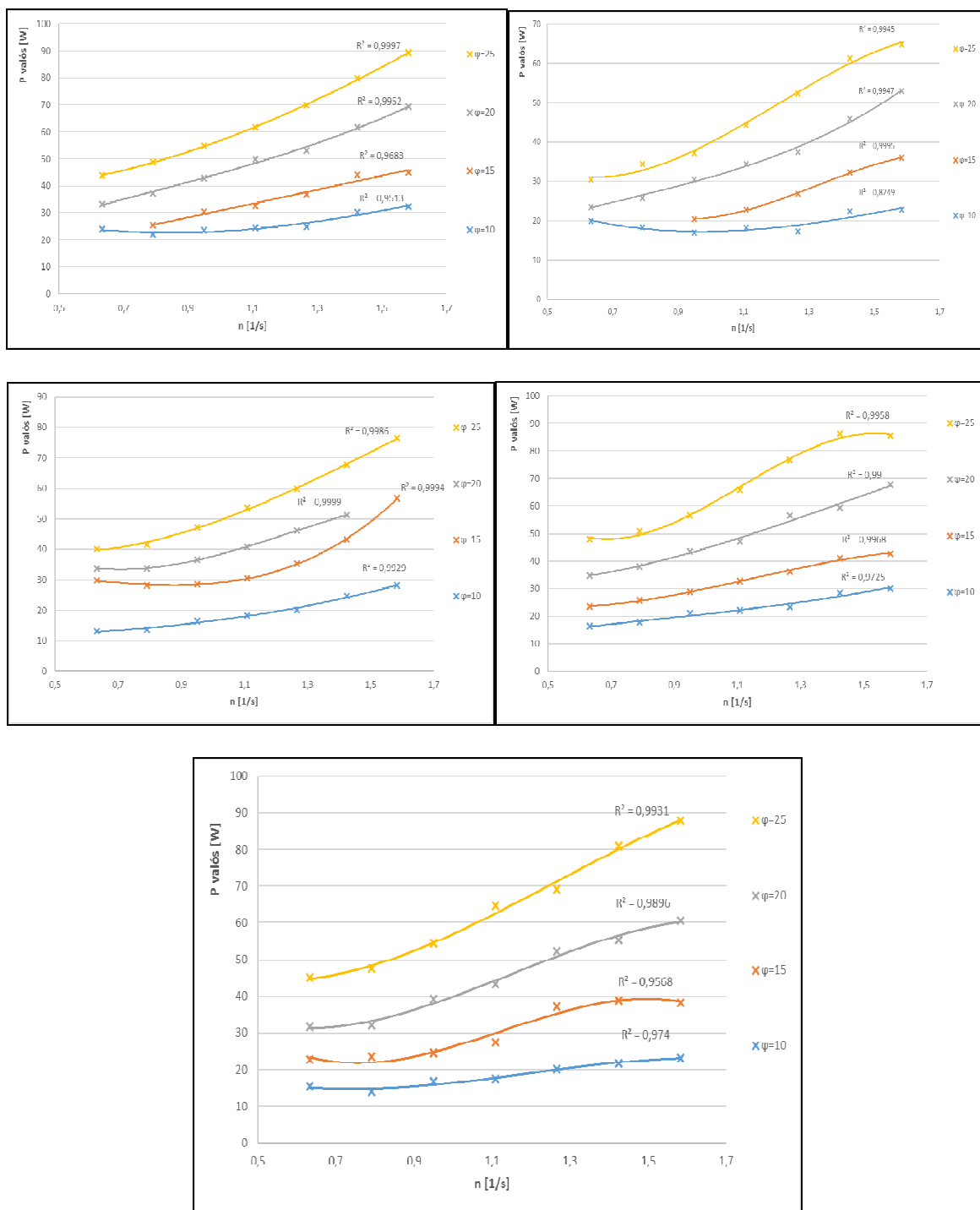
3. EREDMÉNYEK

A kiértékelés során nem lehetett figyelembe venni az 5%-os töltési fokhoz tartozó nyomatókat, mivel azok alacsony teljesítmény értékeket vettek fel. Továbbá 10 és 15 Hz fordulatszámhoz tartozó nyomatóértékek rendre kiugróan magasak voltak. Feltehetően az alacsony fordulatszámnak köszönhetően a teljesítménymérő berendezés nem működött megfelelően, annak mérési hibái miatt nem lehet értékelni ezeket az eredményeket.

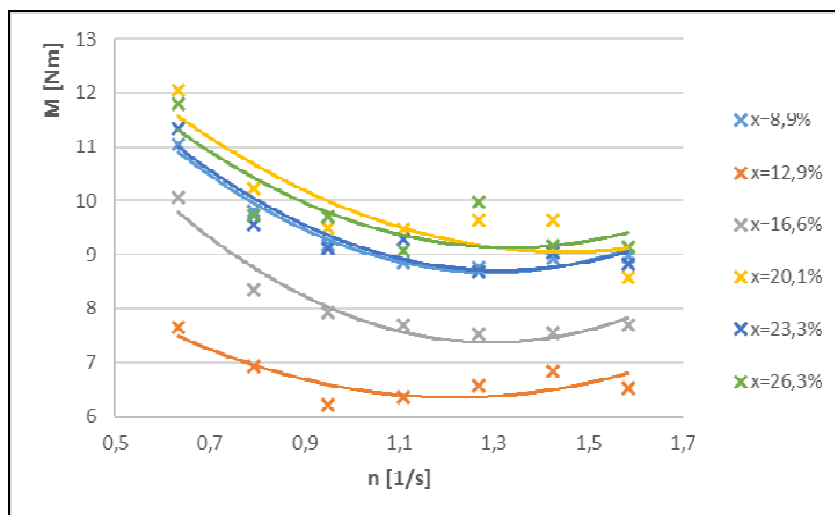
A 7. ábrán látható a keveréshez szükséges teljesítmények a fordulatszám függvényében. A 1. fejezetben bemutatott keverős készüléken [1] mért adatokkal összehasonlítva azonos tendenciájú eredményeket kaptunk a méréseink során. A fordulatszám és a töltési fok növelésével nagyobb tengelyteljesítményre volt szükség a szemcsés anyag keveréséhez.

A nedvességtartalom változása is befolyásolta az eredményeket, növelésével először a teljesítmény csökkenése volt tapasztalható, majd ismételt növekedése.

A 8. ábrán a 15%-os töltési fokhoz tartozó nyomatók láthatók a fordulatszám függvényében különböző nedvességtartalmakra. Azt tapasztaltuk, hogy úgynevezett kádgörbék alakultak ki, azaz inflexiós pontja van a görbéknek.



7. ábra. A mért teljesítmények a fordulatszám függvényében különböző töltési fok esetén, balról jobbra rendre az első sorban a 8,9% és 13,9%, a második sorban a 18,4% és 22,5%, a harmadik sorban a 29,7%-os nedvességtartalomnál



8. ábra. A nyomaték a fordulatszám függvényében különböző nedvességtartalmak esetén 15%-os töltési foknál

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során keverős dobszáritóban különböző nedvességtartalmú hántolt kölest kevertünk és mértük a fellépő teljesítmény szükségletet. Méréssorozatot végeztünk el a keverős dobszáritó berendezésen, ahol három különböző paraméter, a nedvességtartalom, a dobszáritó töltési foka, illetve a keverési fordulatszám változtatása esetén egy teljesítménymérő berendezéssel mértük a keverős dobszáritó teljesítményszükségletét. 6 különböző nedvességtartalom, 5 különböző töltési fok, illetve 9 különböző fordulatszám esetén mértük a keverési teljesítményszükségletet. Megállapítható volt, hogy a töltési fok növelésével nő mind a keverési teljesítményszükséglet, mind a keverési nyomatékszükséglet. A fordulatszám növelése szintén a keverési teljesítményszükséglet növekedését eredményezi. Ezzel szemben a keverési nyomatékszükséglet alacsonyabb fordulatszámok esetén magasabb, a fordulatszám növelésével pedig változó tendenciákkal csökken és egy adott értékhez közelít. A nedvességtartalomról elmondható, hogy növelésével nőnek a vizsgált értékek, azonban a legalacsonyabb vizsgált nedvességtartalom szintén magasabb eredményeket produkált, mint az azt követő két nedvességtartalom.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet a Richter Gedeon Talentum Alapítványnak (1103 Budapest, Gyömrői út 19-21.) és az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramnak (NKFIH/PD-116326) a munkában nyújtott anyagi támogatásért.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GIJÓN-ARREORTÚA, I., TECANTE, A.,** *Mixing time and power consumption during blending of cohesive food powders with horizontal helical double-ribbon impeller.* Journal of Food Engineering, 2014.
- [2] **HORVÁTH, D., HEGEDŰS, K., VARJU, E.:** *Keverős dobszáritó keverési teljesítmény szükségletének meghatározása,* Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2016.

PÁROLGÁS JELENSÉGE GÁZ-FOLYADÉK ÉRINTKEZTETŐKBEN

THE PHENOMENON OF EVAPORATION AT GAS-LIQUID CONTACTORS

POÓS Tibor¹, VARJU Evelin²

¹adjunktus, poos@mail.bme.hu

¹ Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

²doktorandusz, varjuevelin@mail.bme.hu

² Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kivonat: Az abszorpció során három folyamat játszódik le: abszorpció, ahol a gáz és a folyadék érintkeztetésekor a gázban lévő bizonyos komponensek vagy kinyerés, vagy eltávolítás céljából a folyadékban nyelődnek el; hőátadás, ugyanis a gáz és a folyadék közötti hőmérsékletkülönbség következtében a gáz hűl, míg a folyadék felmelegszik; és ennek következtében párolgás történik, vagyis a két közeg határán a telített vízfelszínről víz-gőz diffundál a gázba. A párolgás intenzitására a műveleti paraméterek – tömegáramok aránya, hőmérséklet, nedvességtartalom, berendezés főbb méretei stb. - megváltoztatása különböző hatást gyakorol, amely egy hatásvizsgálat segítségével megállapítható.

Kulcsszavak: párolgás, abszorpció, gáz-folyadék érintkeztető, abszorber, hatásvizsgálat

Abstract: During absorption three processes take place: absorption, where in the contact surface between gas and liquid certain components from the gas are absorbed in the liquid for extraction or removal; heat transfer, where because of the temperature based driving forces the temperature of gas is getting lower and the temperature of liquid is getting higher; and evaporation, where from the saturated water surface vapour diffuses in to the unsaturated air. Changing the operating parameters – mass flow rates, temperature, absolute humidity, main dimensions of the equipment, etc. – has different effect for the intensity of the evaporation, which can be determined by an impact analysis.

Keywords: evaporation, absorption, gas-liquid contactor, absorber, impact analysis

1. BEVEZETÉS

A környezetben és a környezetvédelemben végbemenő transzportfolyamatok jelentős része kapcsolatban van a diffúzióval. Ezekben a műveletekben anyag megy át az egyik fázisból a másik fázisba, az egymással érintkező, fázisok közötti határfelületen keresztül. Ezeket a műveleteket anyagátbocsátási vagy diffúziós műveleteknek nevezzük. A diffúziós műveleteknél egy anyagnak egy másikba való áthaladása a fázishatáron keresztül, rendszerint molekuláris méretekben történik [1].

A transzportfolyamatokon belül egy elválasztási művelet az abszorpció. A folyamat során a gázelegyet folyadékkal érintkeztetjük azért, hogy a gáz egy vagy több komponensét a folyadékfázisba vigyük át. Az iparban az abszorpciós folyamatot elsősorban a gázelegyek értékes komponenseinek elválasztására vagy a szennyeződésektől való megtisztítására használják [1]. Ilyen például a szén-dioxid és a szén-monoxid eltávolítása ammóniaszintézisnél; kén-trioxid elnyelése kénsavgyártásnál; hidrogén-klorid elnyelése sósav előállításánál; nitrogén-oxidok vizes elnyelése salétromsavgyártásnál. De használják a kőolaj-feldolgozó iparban különböző szénhidrogének gőzeinek elnyelésére, oldószerek visszanyerésére [2]. Például egy kokszkemencében a melléktermékként keletkező gázból az ammóniát vízzel abszorbeálják, majd olajjal a benzol- és toluol gőzöket. A nemkívánatos

kénhidrogént akár ebből a kokszgázból, akár a földgázból, akár a természetes szénhidrogéngázokból különböző lúgos oldatokkal mossák ki, amikor a kénhidrogén a folyadékfázisban elnyelődik [1].

Az utóbbi időben az abszorpciós folyamatok főszerepet kapnak a környezetközpontú folyamattervezésnél, az atmoszférába kiengedett hulladékgázok mérgező szennyeződésektől történő megtisztításánál. Ilyen folyamat például a hulladékgázok szerves vegyületektől történő mentesítése, a füstgázok kén-dioxid-mentesítése, a műtrágyagyártásnál keletkező gázok tisztítása a fluorvegyületektől stb. Ugyancsak jelentős területe az abszorpciónak a gázok nedvesség mentesítése vízelvonó folyadékokkal, rendszerint kénsavval [3].

2. GÁZ-FOLYADÉK ÉRINTKEZTETŐ BERENDEZÉSEK

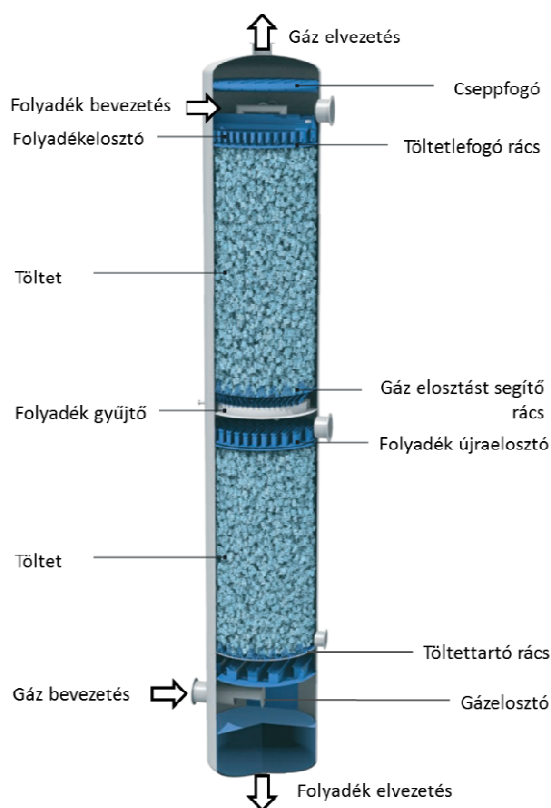
Az abszorpció lebonyolítására különböző típusú készülékeket használnak. Mivel a gáz fázisból a folyadékfázisba való átadás határfelületen történik, minél nagyobb a felület, annál intenzívebb a folyamat. Épp ezért a készülékek kivitelezésében arra kell törekedni, hogy minél nagyobb felületet biztosítsunk. Ez megoldható, úgy a gázfázis, mint a folyadékfázis minél jobb eloszlásában. A gázfázis elosztását szolgálják a különböző buborékolató berendezések, míg a folyadékfázis eloszlására a különböző töltetek vagy porlasztók szolgálnak. Bármilyen megoldást is alkalmaznak a folyamat lebonyolítására, ez minél kisebb energiaráfordítással és minél hatékonyabban kell megvalósítsa az abszorpciót [4].

Az abszorpciós folyamatok jellegzetes készülékei a fokozatszerű és folytonos fázisérrintkeztető abszorberek. A cikkben a párolgás jelenségének vizsgálata folytonos fázisérrintkeztető abszorberekre vonatkoztatva történik, így ezen készülékek bővebben kerülnek ismertetésre. A folytonos fázisérrintkeztetést megvalósító készülékeknél a könnyű és a nehéz fázis ellenáramban áramlik, folyamatos érintkezés valósul meg a készülékben, azaz működés szempontjából a készülék egyes helyein az időtől függetlenül mindig ugyanaz a koncentráció alakul ki. Ezen berendezések függőleges oszlopok, amelyeket töltőtestekkel vagy nagy felületű szerkezeti elemekkel töltenek meg [5]. Egy ilyen berendezés vázlata látható a 1. ábrán.

A folyadékot a toronyba felül bepermetezik a töltelékre, ahol azt minél egyenletesebben kell a töltet tetejére juttatni – erre elosztó rózsák, elosztó tányérok, illetve egyéb szerkezetek szolgálnak. A töltet tartórácson nyugszik, a tetején pedig lefogó rácsot helyeznek el, hogy az esetleges nagyobb gázsebesség ne ragadja magával a könnyebb, kisebb tölteteket. A folyadék a töltetrétegen lefelé haladtában az oszlop belső palástja felé igyekszik, ha ez túlzott mértékű, akkor a gáz a töltet belső „magjában” nem eléggé nedvesített töltettel találkozik. Ez a jelenség a „peremjárás”, amely rontja az anyagátadást. A töltetek több szelvényre osztása és a rétegszelvények alatt elhelyezett újraelosztók a folyadékeloszlást javítja. A folyadék alul, a gázbevezetés alatt különböző megoldások segítségével hagyja el a kolonnát. A gáz bevezetése az oszlop alján szintén egy elosztó szerkezeten történik, mint a folyadék esetében, hogy a gáz egyenletesen áramoljon az oszlop egész keresztmetszetét tekintve. A gáz, miután az anyagátadás megtörtént, felül elhagyja az oszlopot, de célszerű beépíteni előbb egy cseppfogót, amely visszatartja a gáz által elragadott folyadék cseppeket [3].

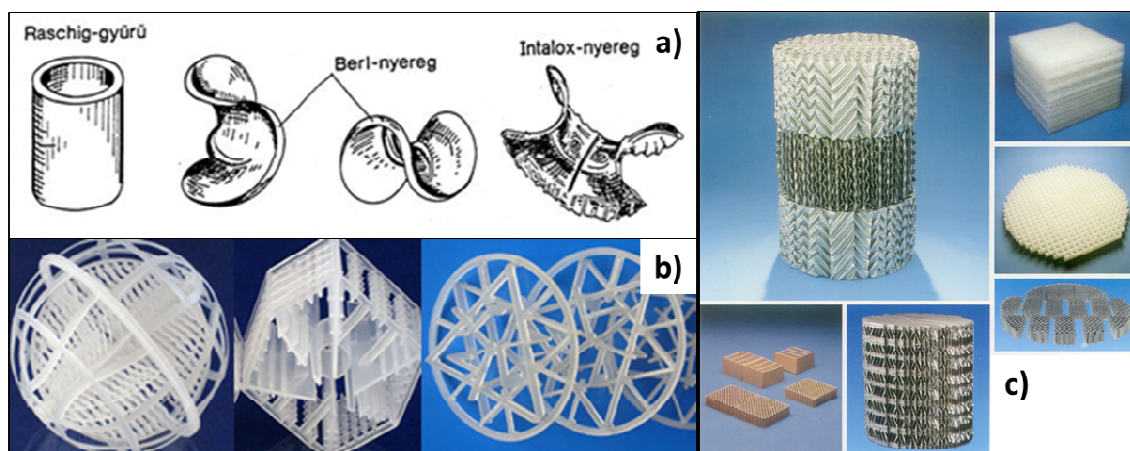
A töltött oszlopokat két nagy csoportra oszthatjuk. Az első csoportba az ömlesztett töltetes (darabos, egyedi, összetett töltőtestek halmazából álló) oszlopokat soroljuk, ezeket általában rendezetlen töltetes oszlopnak nevezzük. A másik csoportot a rendezett töltettel töltött oszlopok képezik, ezeket csomagöltetes (packing) oszlopnak is szokás nevezni. Az előbbieket ömlesztett formában régóta használatosak, az utóbbiak pedig az utóbbi három évtized jelentős találmányainak tekinthetők, melyeket egyre gyakrabban alkalmaznak új kolonnák építésénél

és meglévő kolonnák intenzifikálásánál. A két csoport között átmenetet képeznek a szabályosan rakott (ugyancsak egyedi töltetekből álló) töltetek [3].



1. ábra. Folytonos fázisérrintkeztető abszorber sematikus ábrája [6]

Rendezetlen töltetek esetén a tölteteket egyszerűen a készülékbe szórják a berendezés telepítésénél, és figyelmen kívül hagyják az elhelyezkedésüket a rétegszelvényen belül. Általában három típusba sorolhatjuk az egyedi töltettesteket geometriai alakjuk szerint: gömb, nyereg, gyűrű alakú testekre (2./a ábra). De ezen egyszerűbb töltettípusok mellett a fejlesztések, kísérletezések nyomán rengeteg különféle kialakítást dolgoztak ki. Az érdekesség kedvéért a 2./b ábra tartalmaz néhány különleges, újabb konstrukciójú töltetet.



2. ábra. Rendezetlen és rendezett töltettípusok (a-egyszerű kivitelű rendezetlen töltet [3], b-különleges kivitelű rendezetlen töltet [7, 8], c-rendezett töltet [5])

A töltetes kolonnák előrelépésében nagy sikert hozott a strukturált töltet megjelenése. A rendezett töltetszerkezet vékony alaklemezekből vagy huzalszövetből összeállított, szabályos geometriai ismétlődést mutató azonos vagy egymást keresztező járatcsatorna-rendszert képező csomagszerű betétszerkezet (2/c ábra). A döntő különbség az ömlesztett tölteléktestekkel ellátott tornyokhoz képest az, hogy míg azokban a járatcsatornák mérete, alakja és iránya rendszertelenül változó, a rendezett töltetekben a járatcsatornák mérete, alakja és iránya szabályos geometriai ismétlődést mutat, melyből következően az áramló fázisok terhelése a rendezett töltet geometriája által meghatározott rendben történik [3].

3. PÁROLGÁS JELENSÉGE ÉS LEÍRÁSA

Az abszorpció során a gázelegyet folyadékkal érintkeztetjük azért, hogy a gáz egy vagy több komponensét a folyadékfázisba vigyük át. Az abszorberen belül három folyamat játszódik le: abszorpció, ahol a gáz és a folyadék érintkezésekor a gázban lévő komponensek a folyadékban nyelődnek el; hőátadás, ugyanis a gáz és a folyadék közötti hőmérsékletkülönbség következtében a gáz hűl, míg a folyadék felmelegszik; és ennek következtében párolgás történik, vagyis a két közeg határán a telített vízfelszínről vízgőz diffundál a gázba. Az abszorberek esetében meleg gáz fázis érintkezik hideg folyadék fázissal, és ugyanez a folyamat játszódik le a hűtőtornyokban, csupán fordítva. Ugyanis a hűtőtoronyban meleg folyadék érintkezik hideg levegővel és a művelet célja a technológiai víz hűtése és hűtőteljesítmény előállítása, mivel a levegő konvektív hőátadása, valamint a párolgás során létrejövő hőelvonás hűti a vizet. A hűtőtornyokban lejátszódó párolgás leírása részletesen kidolgozott és ez az elmélet alkalmazható az abszorpció esetére is [5].

A toronymagasság mentén a folyadék hőmérséklet, gáz hőmérséklet és a nedvességtartalom változásának nyomon követése a következőkben ismertetett algoritmus alkalmazásával lehetséges. Az első lépés a hőmérsékletkülönbség (ΔT_G) felvétele, mellyel meghatározható a gáz hőmérséklet (T_G), és ami az algoritmus léptetője lesz a számítás során:

$$T_{Gi+1} = T_{Gi} - \Delta T_G \quad , \quad (1)$$

Ennek segítségével meghatározható a gáz nedvességtartalom változása ($\Delta \tilde{Y}_G$), ahol az „L” index a folyadékra, az „F” a felületre, „G” a gázra utal:

$$\Delta \tilde{Y}_G = \frac{\tilde{Y}_{Fi}(T_{Li}) - \tilde{Y}_{Gi}}{T_{Gi} - T_{Li}} \Delta T_G \quad , \quad (2)$$

Majd következik a gáz nedvességtartalmának kiszámítása:

$$\tilde{Y}_{Gi+1} = \tilde{Y}_{Gi} + \Delta \tilde{Y}_G \quad , \quad (3)$$

Ebből kiszámítható a folyadék hőmérséklet változása (ΔT_L) az adott lépésben:

$$\Delta T_L = \frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_L c_L} (r_0 \Delta \tilde{Y}_G - c_{nG} \Delta T_G) \quad , \quad (4)$$

ahol:

\dot{m}_G – a gáz tömegárama [kg/s];

- \dot{m}_L – a folyadék tömegárama [kg/s];
 c_L – a folyadék fajhője [J/kgK];
 r_0 – a fázisváltozási hő [J/kg];
 c_{nG} – a nedves gáz fajhője [J/kgK].

Ezután a folyadék hőmérséklete az adott pontban meghatározható:

$$T_{Li+1} = T_{Li} - \Delta T_L \quad , \quad (5)$$

Az ehhez a lépéshez tartozó töltetmagasság változás (ΔH) a következő módon határozható meg:

$$\Delta H = \frac{\dot{m}_L c_L}{\sigma a A_0} \frac{\Delta T_L}{h_F - h_G} \quad , \quad (6)$$

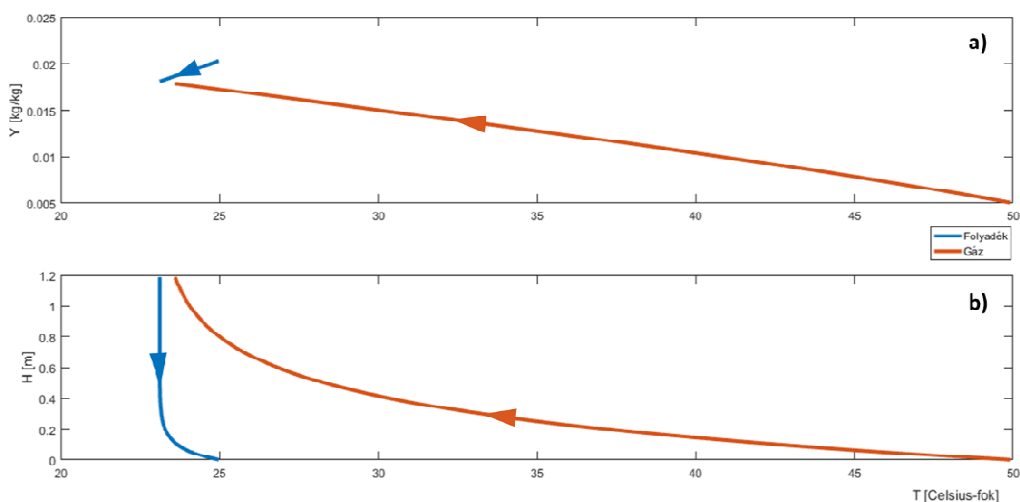
ahol:

- σ – a párolgási tényező [kg/m²s];
 a – töltet fajlagos felülete [m²/m³];
 A_0 – az üres oszlop keresztmetszete [m²];
 h – entalpia [J/kg].

Az utolsó lépés a töltetmagasság meghatározása:

$$H_{i+1} = H_i + \Delta H \quad , \quad (7)$$

Az algoritmus MatLab[®] programban került kidolgozásra, és a 3./a ábrán láthatóak az egyes lépések, vagyis a folyadék és gáz nedvességtartalmának, valamint hőmérsékletének változása Y-T diagramon. Megfigyelhető, hogy a gáz hőmérséklete egyre csökken, míg a nedvességtartalma nő, miközben a folyadék hőmérséklete növekszik, de a nedvességtartalma csökken. A 3./b ábrán a hőmérsékletváltozás látható a torony magassága mentén a folyadék és a gáz esetére. A diagram jól szemlélteti, hogy a torony alján következik be a jelentős mértékű hőmérsékletváltozás, ahol a gáz nagy hőmennyiséggel lép be a készülékbe.



3. ábra. A nedvességtartalom és hőmérsékletváltozás az abszorberen belül (a-nedvességtartalom változás a hőmérséklet függvényében, b-hőmérséklet változás a töltetmagasság mentén)

4. HATÁSVIZSGÁLAT

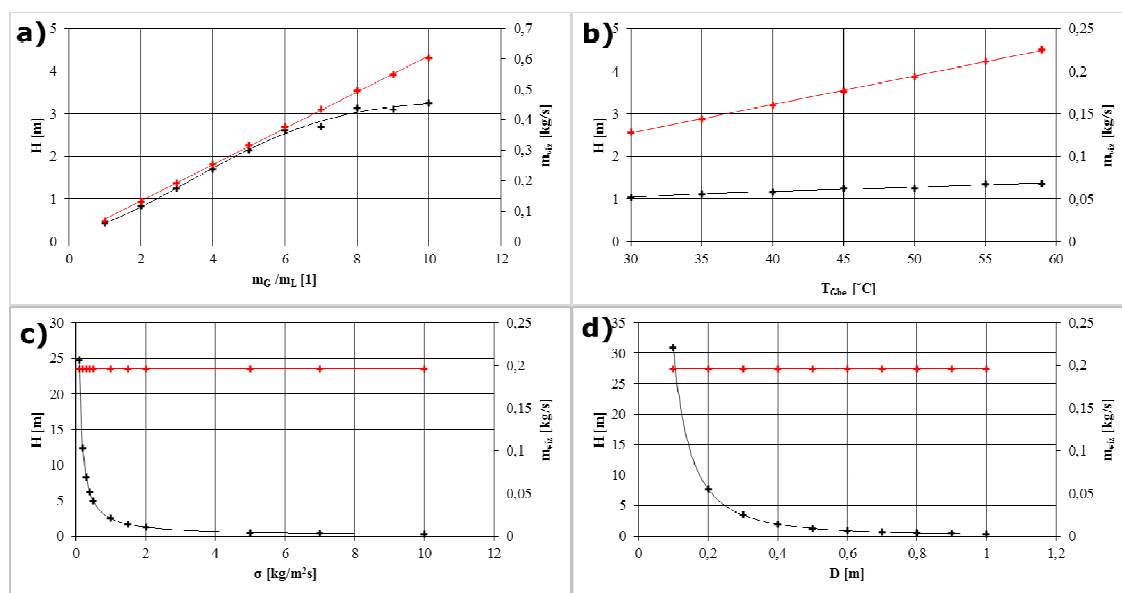
A következőkben a korábban leírt algoritmus segítségével vizsgáltuk a különböző paraméterek hatását a töltetmagasságra és a gázba bediffundált víz mennyiségére. Az algoritmus a gáz telítődését veszi figyelembe, azt a töltetmagasságot számítja ki, ami a telítődéshez szükséges. Az alapadatok az 1. táblázatban szerepelnek, a vizsgálat során pedig csak egy paramétert változtattunk meg, míg a többi állandó maradt.

1. Táblázat Az algoritmus kiinduló adatai a vizsgálat során

T_{Gbe}	50	°C
ΔT_G	0,1	°C
\bar{Y}_{Gbe}	0,005	kg/kg
M_{vieg}	18	kg/kmol
M_{lev}	29	kg/kmol
P	100000	Pa
T_{Lki}	25	°C

\dot{m}_G	15	kg/s
\dot{m}_L	5	kg/s
r_0	2257000	J/kg
c_{nG}	1000	J/kgK
σ	2	kg/m ² s
a	127	m ² /m ³
D	0,5	m

A 4. ábrán láthatóak az eredmények összesítve. A 4./a ábrán látható a töltetmagasságnak és az elpárolgott víz mennyiségének változása a gáz-folyadék arány függvényében. Az elpárolgott víz mennyisége, amit a gáz magával ragad, lineárisan növekszik, ahogy a gáz mennyisége nő, mivel a belépő gáz több hőt ad át a folyadéknak, így nagyobb mértékű párolgás következik be. A töltetmagasság egy ideig lineárisan növekszik, majd ahogy ez az arány nő, látszik, hogy konvergál egy bizonyos értékhez.

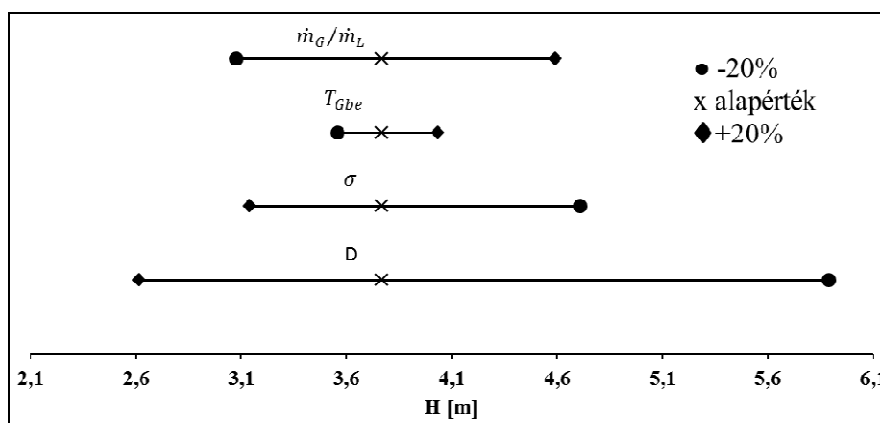


4. ábra. A töltetmagasság és elpárolgott víz mennyisége. a) gáz-folyadék arány, b) belépő gázhőmérsékletének, c) párolgási tényező, d) torony átmérő függvényében

A következő paraméter a gáz belépő hőmérsékletének hatása volt, ami a 4./b ábrán látható. Minél nagyobb a gáz belépő hőmérséklete, annál nagyobb a töltetmagasság és az elpárolgott folyadék mennyiség is. Megfigyelhető volt a vizsgálat során, hogy adott belépő gázjellemzők mellett, van egy minimális hőmérséklet, ami alá nem hűlhet a folyadék az abszorberen belül. Ez a hőmérséklet az

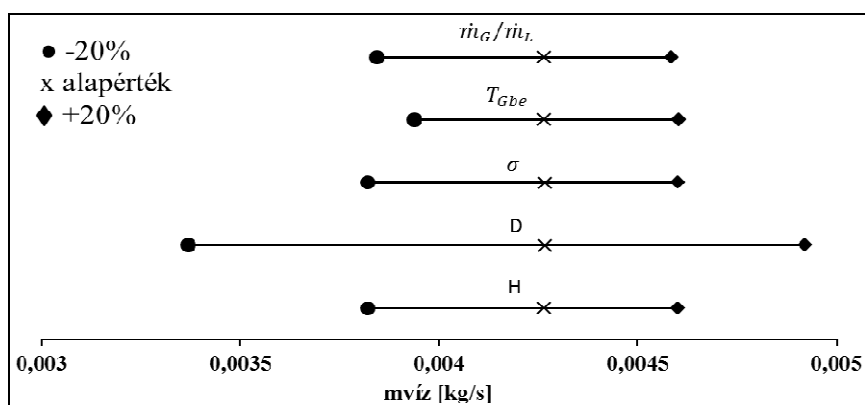
adiabatikus telítési hőmérséklet. A 4./c ábrán látható a töltetmagasságnak és az elpárolgott víz mennyiségének változása a párolgási tényező függvényében. Az elpárolgott víz mennyisége változatlan, míg a töltetmagasság meglehetősen érzékeny ezen paraméter változására. Minél kisebb a párolgási tényező, annál nagyobb a töltetmagasság, míg bekövetkezik a gáz telítődése nedvességgel, hatványkapcsolat áll fenn a párolgási tényező és a töltetmagasság között. Ezek mellett a torony átmérőnek a hatását ($D=0,1\div 1$ m) is vizsgáltuk a töltetmagasságra és az elpárolgott víz mennyiségére, amelynek az eredményei a 4./d ábrán látható. Az elpárolgott víz mennyisége állandó, függetlenül a torony átmérőjétől, míg a töltetmagasság annál nagyobb, minél kisebb az átmérő.

Az 5. ábrán a paraméterváltozás hatása látható a töltetmagasságra, ahol az egyes paraméterek $\pm 20\%$ -os változását vizsgálva, összehasonlíthatóvá vált, hogy melyik milyen mértékben gyakorol hatást a töltetmagasság alakulására. A kiindulási adatok itt is az 1. táblázatban foglaltaknak felelnek meg. Megfigyelhető, hogy legnagyobb mértékben a torony átmérőjének változása van hatással a gáz telítődésre, a gáz-folyadékáram és a párolgási tényező változása ehhez képest kisebb és közel azonos mértékű, míg a belépő gáz hőmérséklet kevésbé befolyásolja a telítődést a torony mentén.



5. ábra. Paraméterváltozás hatása a töltetmagasságra

Eddig azt vizsgáltuk, hogy a gáz nedvességgel való telítődése mekkora toronymagasság mellett történik meg, illetve az elpárolgott víz mennyisége ez esetben mennyi. De emellett megnéztük azt is, hogy az elpárolgott víz mennyiségét hogyan befolyásolják a vizsgált paraméterek akkor, ha a töltetmagasság mentén nem történik meg a telítődés. A korábbi értékeket figyelembe véve a töltetmagasságot 1 méternek választva, biztosan telítetlen gáz lép ki a toronyból (6. ábra). Az elpárolgott víz mennyiségére is a torony átmérője van a legnagyobb hatással, míg a többi paraméter – gáz-folyadék arány, belépő gázhőmérséklet, párolgási tényező, toronymagasság – hasonló mértékben befolyásolja azt.



6. ábra. Paraméterváltozás hatása az elpárolgott víz mennyiségére

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során az egyidejű hő- és anyagátadást vizsgáltuk gáz-folyadék érintkeztetőknél. A folytonos fázisérrintkeztető abszorberknél három folyamat játszódik le a berendezésben: abszorpció, hőátadás és ennek következtében párolgás. Az abszorberben történő párolgás nagyon hasonló a hűtőtoronyokban lejátszódó folyamatokhoz, csupán a hőátadás ellentétes irányú. A hűtőtoronyokra a párolgás jelensége részletesen kidolgozott, mely elméletet átültettünk az abszorberben lejárló párolgás leírására. Egy algoritmust dolgoztunk ki a gáz illetve folyadék hőmérsékletek, valamint a nedvességgel való telítődés leírására MatLab® programban. Majd az algoritmus segítségével vizsgáltuk a különböző paraméterek változtatásának hatását a töltetmagasságra, illetve az elpárolgott víz mennyiségére. A párolgási algoritmus használható egy adott abszorpciós feladat során annak meghatározására, hogy a belépő gáz a töltetmagasság mentén mikor telítődik nedvességgel, aminek segítségével pedig meghatározható az abszorbens folyadék fogyása a művelet során.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet Dr. Örvös Mária c. egyetemi tanárnak a munkában nyújtott segítségéért, valamint a Richter Gedeon Talentum Alapítványnak (1103 Budapest, Gyömrői út 19-21.) és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak (NKFIH/PD-116326) a munkában nyújtott anyagi támogatásért.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GULYÁS, L.:** *Diffúziós műveletek*, Debreceni Egyetem, 2011.
- [2] **MIZSEY, P. és társai,** *Vegyipari műveletek II.*, Typotex Kiadó, 2011., ISBN 978-963-279-487-7
- [3] **FONYÓ, ZS., FÁBRY, GY.:** *Vegyipari művelettani alapismeretek*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 2004.
- [4] *Műveletek a kémiai és biokémiai folyamatokban – Abszorpció* (<http://www.emte.siculorum.ro/~alszep/Muvelettan%202013%20PDF/10.%20Abszorpcio%201.pdf>, 2017.05.24.)
- [5] **ÖRVÖS, M., MOLNÁR, K.:** *Gáz halmazállapotú szennyezőanyagok leválasztása* (Oktatási segédanyag), 2014.
- [6] **TREYBAL, R. E.:** *Mass-transfer operation*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1981.
- [7] **Jiangxi Yilong.:** Töltet típusok és jellemzőik (<http://www.jiangxiyilong.com/>, 2017.05.24.)
- [8] **Alibaba.:** Töltet típusok és jellemzőik (<http://xt988.en.alibaba.com/product>, 2017.05.24.)

DISZKRÉT ELEMES MÓDSZERREL ÉS MÉRÉSSSEL MEGHATÁROZOTT RÉZSÚSZÖGEK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA

THE COMPARE OF ANGLES OF REPOSE WITH DISCRETE ELEMENT METHOD AND MEASUREMENT

POÓS Tibor¹, HORVÁTH Dániel², TAMÁS Kornél³

¹adjunktus, poos@mail.bme.hu

¹ Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

²MSc hallgató, daniel.horvath.nk@gmail.com

² Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

³adjunktus, tamas.kornel@gt3.bme.hu

³ Gép- és Terméktervező Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kivonat: A kutatás során különböző nedvességtartalmú hántolt köles rézsűszögeit vizsgáltuk méréssel és diszkrét elemes modellezéssel, majd a kapott eredmények összehasonlításra kerültek. Fő célunk az ismeretlen szimulációs mikromechanikai paraméterek meghatározása volt, mivel azok további kutatás során felhasználásra fognak kerülni a választott szemcsés anyaggal történő további berendezések vizsgálatánál.

Kulcsszavak: rézsűszög, diszkrét elemes módszer, kohézió, nedvességtartalom, hántolt köles

Abstract: In this study the angle of repose of hulled millet with different moisture content was investigated with measurement and discrete element method. The result of the simulation and measurement were compared. The aim of this study to define the unknown micromechanic parameter set of the simulation. In further studies the calibrated parameter set of the modeling of equipments could be used for the chosen granular material.

Keywords: angle of repose, discrete element method, cohesion, moisture, hulled millet

1. BEVEZETÉS

Az élelmiszer- és a gyógyszeripar számos olyan technológiát alkalmaz, ahol szemcsés anyagalmaz keverését, szárítását, mozgását kell elvégezni.

Elsődleges célunk a szemcsés anyagokat feldolgozó berendezések és az azokkal történő mérések validálása diszkrét elemes szimulációval. A mai kor rohamos technológiai fejlődése során ezzel a módszerrel javasolt megfelelő pontossággal, gyorsan és költséghatékonyan közelíteni a szemcsés halmazokban lejátszódó kinetikai és termikus folyamatokat.

Az alapvető problémát az jelentette, hogy ismeretlenek voltak számunkra a vizsgált anyagok mechanikai tulajdonságai, illetve egyes szimulációs beállítási paraméterek is. Ilyen volt például a vizsgált szemcsés anyagnak, a hántolt kölesnek rézsűszög meghatározása. Az anyagválasztás mellett szólt a vizsgálat léptékének megfelelő közel homogén anyagszerkezet és a gömbként közelíthető geometria.

A rézsűszögek meghatározásának főleg a mezőgazdaságban és azon belül a gépek tervezésénél és üzemeltetésénél van nagy szerepe. Ilyenek például a vetést, szórást, betakarítást, anyagmozgatást, szárítást és az adagolást végző berendezések, tároló tartályok. A tényező meghatározásával választ kaphatunk a szemcsés anyagok belső súrlódási jellemzőire.

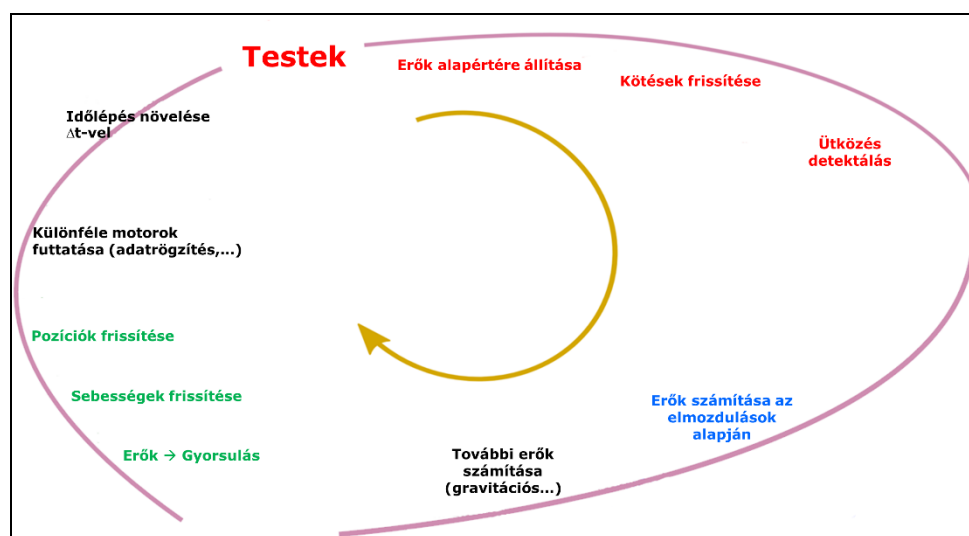
2. A DISZKRÉT ELEMES MODELL BEMUTATÁSA

Jelenleg több diszkrét elemes modellező szoftver áll rendelkezésre kutatások végzésére. Választásunkat segítette, hogy az alkalmazott program ingyenesen elérhető és számos, hasonló szakterületen dolgozó kutató vesz részt a folyamatos fejlesztésében.

2.1. A DEM szimulációs program

Kutatásunkban a *Yade* [1] nyílt forráskódú diszkrét elemes szoftvert alkalmaztuk melyben a modellépítés *Python* nyelven történt.

Többféle úgynevezett belső motor, mint szemcsekapcsolati modell áll rendelkezésünkre a szemcsék között lezajló reológiai folyamatok leírására (például súrlódásos, kohéziós és kapilláris, stb...). A szimuláció során a szoftver explicit időintegrálásos módszert alkalmaz, ami a mozgás- és az erő-elmozdulás törvény közötti iterációjával számol, melynek ciklus diagramja az 1. ábrán látható.



1. ábra. Számítási ciklus a Yade diszkrételemes szoftverrel [1]

Az explicit időintegrálás módszerének első lépése az erők alapértékre állítása, majd a különböző kötések frissítése. Ezek után következik az ütközések érzékelése, majd az általunk meghatározott belső motort leíró törvény alapján a szoftver kiszámítja az elmozdulásokból adódó erőket, melyekből meghatározza a gyorsulásokat, majd frissíti a sebességeket és a pozíciókat. Ezt követően rögzíti a lekért adatokat (pl. erők, elmozdulások, stb.). Végül pedig növeli az időlépést Δt idővel és frissíti a program grafikus megjelenítőjén a testeket és kezdi előlről az egész folyamatot.

Annak érdekében, hogy biztosítsa az explicit időintegrálásos séma stabilitását, a program meghatároz egy felső határt a Δt időlépésre az (1) egyenlet alapján.

$$\Delta t_{krit} = \min_i R_i \cdot \sqrt{\frac{E_i}{E_i}} \quad (1)$$

ahol:

Δt_{krit} – a kritikus időlépés [s]
 R – a szemcsék sugara [m]

- ρ – a szemcsesűrűség [kg/m^3]
 E – a szemcsék mikromechanikai rugalmassági modulusa [Pa]

2.2. A szimulációs környezet felépítése

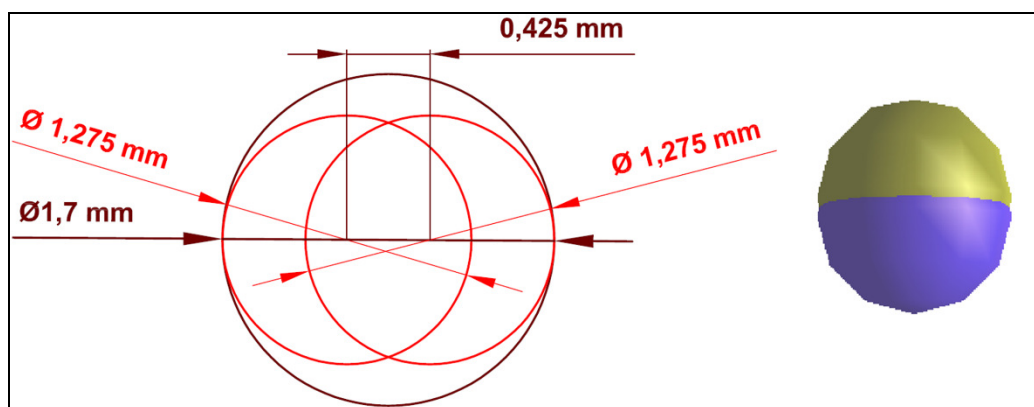
A vizsgálatunkban alkalmazott szemcsés anyag a már korábban említett hántolt köles volt, melynek képe a 2. ábrán látható.



2. ábra. Hántolt köles halmaz

A vizsgálataink célja az anyag nedvességtartalmának hatása az anyaghalmoz mechanikai tulajdonságára.

Mivel a kutatás során eltérő nedvességtartalmakat alkalmaztunk, ezért a folyamatok leírásához úgynevezett kohéziós motort (azaz kohéziós kapcsolati modellt) választottunk, ami az adhézióval is számol. A szemcsék alakját szabályos gömbbel és úgynevezett „clump”-pal közelítettük. A „clump”-ok több gömbből felépített szemcsék, melyek fedhetik is egymást. Segítségükkel jobban lehet modellezni a szemalak hatását a teljes halmaz viselkedésében, ahol az elforgások korlátozottá válnak, illetve a befeszülések és kiékelődések a gömbbel ellentétben könnyebben alakulnak ki. Az általunk felépített „clump” sematikus és valós programbeli kinézete a 3. ábrán látható.



3. ábra. Baloldalon sötét színnel jelölve a gömb, pirossal a „clump” méretei, jobb oldalon a YADE programban létrehozott „clump”

A 3. ábrán sötét színnel jelöltük a közelítésre használt gömb elemet, míg pirossal a „clump”-ot. A méretezésénél figyelembe vettük, hogy a legnagyobb mérete megegyezzen a szabályos gömb átmérőjével (1,7 mm), valamint egymástól egy sugárnyi értékkel (0,425 mm) toltuk el a középpontjukat.

2.3. A szimulációs beállítási paraméterek

Az ismeretlen paraméterek közül sok már korábban meghatározásra került mérések alapján, viszont kalibrációkat is kellett végeznünk, mert a mikro- és makromechanikai paraméterek közvetett módon adhatók meg.

Meghatározásra kerültek a szemcsés anyag belső súrlódási szögei különböző nedvességtartalmaknál nyíródobozos vizsgálat [2] alkalmazásával. Továbbá szitaanalízis segítségével meghatároztuk a szemcseméretnek nagyságának az eloszlása, valamint porozitás mérésekből a szemcsesűrűséget.

A diszkrét elemes modellben használt mikromechanikai rugalmassági modulust és a nyíródobozos vizsgálat alapján a kohéziós erők jellemző nyíró- és normálszilárdságokat előzetes szimulációs tapasztalatok, illetve szakirodalmi adatok [3-5] alapján vettük fel.

A meghatározandó ismeretlen szimulációs paramétereink a dimenzió nélküli gördülő (*etaRoll*) és csavaró (*etaTwist*) szilárdságok, melyeket úgy vizsgáltunk, hogy a két paramétert egyenlővé tettük és egyszerre változtattuk [1]. Ezeket a továbbiakban *etanak* jelöljük.

A beállítási paramétereink gömb és „clump” esetén az 1. táblázatban láthatóak. Időlépésnek mindkét esetben körülbelül $5 \cdot 10^{-5}$ másodpercet alkalmaztunk a kritikus időlépés (1) alapján.

1. Táblázat A diszkrét elemes modellezés beállítási paraméterei

x	ρ	φ	Gömb			"Clump"		
			E	$\tau_{nyíró}$	$\sigma_{normál}$	E	$\tau_{nyíró}$	$\sigma_{normál}$
12,5	1381	42,2	2	6,1	6	0,2	0,7	0,5
14,5	1385	42,2	2	5,2	5	0,2	1,2	1
19,4	1394	41,5	2	4,2	4	0,2	1,7	1,5
21,9	1399	40,5	2	3,4	3	0,2	2	1,8
24,7	1404	39,3	2	1,71	1,5	0,2	2,2	2
29,8	1413	36,1	2	2,22	2	0,2	2,5	2

ahol:

- x – a nedves anyagra vonatkoztatott nedvességtartalom százalékos értéke [%]
- ρ – a szemcsesűrűség [kg/m^3]
- E – a mikromechanikai rugalmassági modulus [MPa]
- φ – a belső súrlódási szög [$^\circ$]
- $\tau_{nyíró}$ – a kohéziós vagy kötési nyírószilárdság [kPa]
- $\sigma_{normál}$ – a kohéziós vagy kötési normálszilárdság [kPa]

„Clump”-ok esetén, mivel a két gömb fedi egymást, ezért a közös térfogatban a sűrűségek a duplájára növekednek.

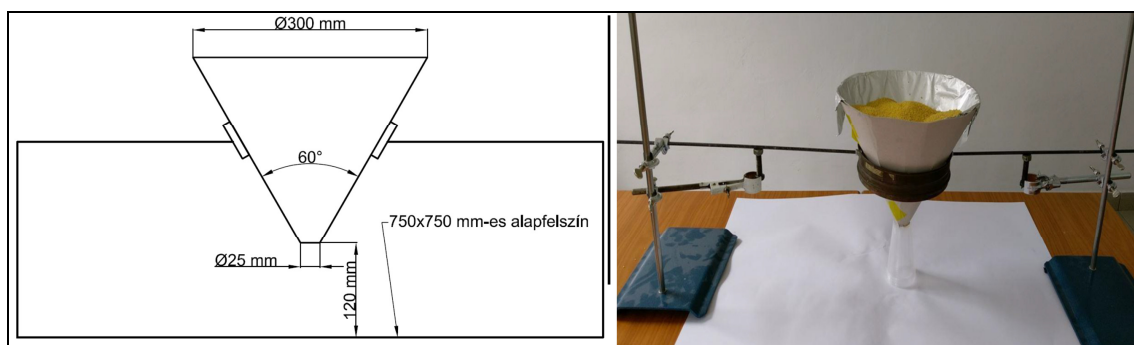
Továbbá a programban a kohéziós erők működésbe léptetéséhez két mód áll rendelkezésünkre. Az egyik lehetőség, melyet ebben a kutatásban alkalmaztunk, az egyszeri, adott időpillanatban történő kohéziós kapcsolatok létesítése a jelenleg érintkező szemcsék között. Ilyenkor egy időlépéssel később új kapcsolatok már nem alakulnak ki. A másik lehetőség a folyamatos, új kontaktok esetén is kialakuló kohéziós kapcsolatok létesítése.

3. MÉRÉSI MÓDSZER

A szemcsés anyagok rézsűszögének meghatározásának módszerét szabvány írja elő. A szemcseátmérő függvényében más és más mérési elrendezést javasolnak. A hántolt kölesre jellemző 1,7 mm-es szemcseátmérőhöz tartozó mérőberendezés kialakítást az alábbiakban kerül ismertetésre.

3.1. A laboratóriumi mérőberendezés

A mérőberendezés MSZ EN szabvány [6] alapján került megépítésre, melynek sematikus és valós elrendezése a 4. ábrán látható.



4. ábra. Baloldalon a mérőállomás szabvány szerinti mérete, jobboldalon annak megfelelően megépített elrendezése látható

A tölcsér kialakítása 1,5 mm vastag kartonpapírból történt, valamint alufóliával lett bevonva belülről a szemcsés anyag nedvességtartalma miatt. A tölcsért az állványhoz egy tartógyűrű segítségével rögzítettük.

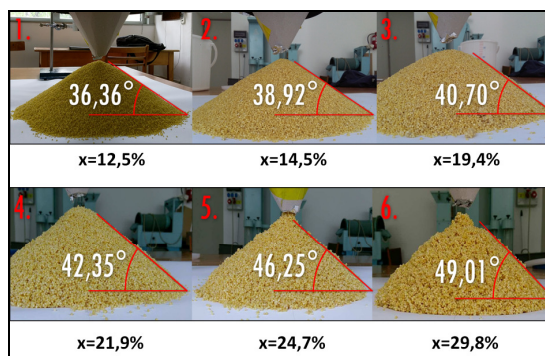
3.2. A laboratóriumi mérés

A mérendő hántolt kölest először az állandó szemcseméret elérése érdekében szétosztályozó segítségével szeparáltuk, majd adott mennyiségű víz hozzáadásával, 24 órával a mérés előtt folyamatos óránkénti keveréssel nedvesítettük be az anyagot (12,5%, 14,5%, 19,4%, 21,9%, 24,7%, 29,8% értékekre).

A mérés a szabványban [6] meghatározott módon történt. Addig kellett a tölcsérből kölest kiengedni, amíg a keletkezett kúpszerű szemcsehalmaz teteje elérte a kiömlőnyílást.

3.3. A kiértékelés menete

A kiértékelés kétféle módon lehetséges. Az egyik az 5. ábrán látható, ahol a kúpos szemcsehalmazra érintők behúzásával válik leolvashatóvá a rézsűszög. Ezt a módszert használtuk a szimulációs eredmények kiértékelése során, mivel a számítási kapacitásigény miatt kevesebb szemcsemennyiséggel dolgoztunk és a tölcsér kiömlőnyílásának magasságát is csökkentettük.



5. ábra. Az érintők behúzásával történő kiértékelés különböző nedvességtartalmak esetén

A másik módszer a szabványban [6] leírt módon történhet, ezt alkalmaztuk a laboratóriumi mérések kiértékelésénél. Az alapra 45°-os osztásközü egyeneseket húztunk, majd lemértük a halmaz átmérőit az egyenesek mentén és átlagoltuk az eredményeket. Ezek után a szabványban előírt képlet alapján kiszámítottuk a rézsűszög értékét:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{240}{\bar{d} - 25} \right), \quad (2)$$

ahol:

α – a számított rézsűszög [°]

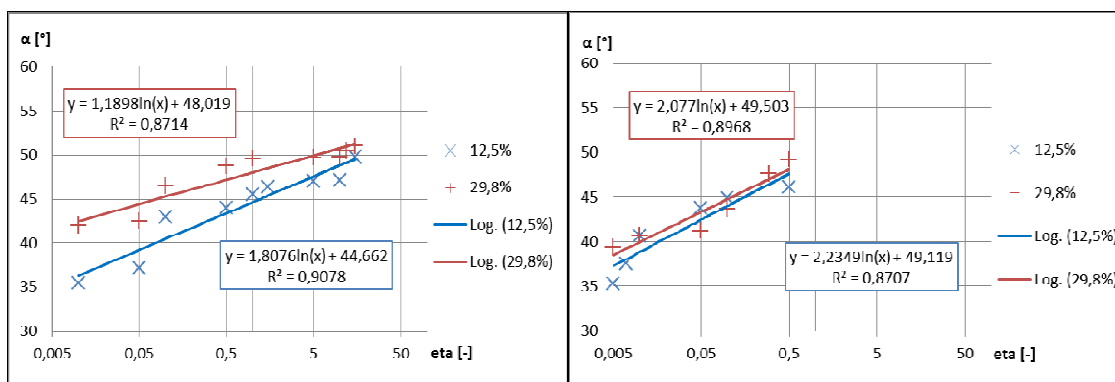
\bar{d} – a leolvasott átmérők alapján átlagolt átmérő [mm].

4. EREDMÉNYEK

Szabványos mérési eljárás alapján kapott eredmények segítségével meghatároztuk a diszkrét elemes modellezésnél használt dimenzió nélküli gördülő és csavaró szilárdság értékeket.

4.1. A szimulációval és méréssel kapott eredmények és a hozzá tartozó eta beállítási paraméterek

Először szimulációval érzékenységi vizsgálatokat végeztünk a legnagyobb és legkisebb nedvességtartalmaknál az eta értékek logaritmikus változtatásával, melynek hatása a 6. ábrán látható. Ennek oka a szimulációs időtartam csökkentése volt.



6. ábra. Baloldalon gömb, jobb oldalon „clump” esetén a modellezett rézsűszögek az eta függvényében logaritmikus léptékezésű skálán, 12,5%-os és 29,8%-os nedvességtartalmaknál

Mint látható „clump” esetén a legnagyobb és a legkisebb nedvességtartalmaknál felvett munkapontokra illesztett trendvonalak szűkebb tartományt fednek le a gömbhöz képest. Ennek oka a „clump”-ok elforgásának korlátozottsága, illetve a befeszülések és kiékelődések könnyebb kialakulása.

A mért és modellezett rézsűszögek a 2. táblázatban láthatóak, ahol a kiértékelési és leolvasási bizonytalanságok miatt a modellezéssel kapott eredményeket intervallumokba foglaltuk.

2. Táblázat A méréssel és modellezéssel kapott eredmények

		x	12,5	14,5	19,4	21,9	24,7	29,8
Mérés		α_m	36,4	38,9	40,7	42,4	46,3	49
Modellezés	Gömb	α_{sz}	35,5-37,2	38,7-40,5	39,7-41,1	42,3-43,3	45,7-46,5	48,8-49,6
		Eta	0,01-0,05	0,01-0,05	0,05-0,07	0,01-0,03	0,1-0,3	0,5-1
	"Clump"	α_{sz}	35,3-37,5	37,2-40,7	37,9-41,4	41,9-42,7	46,6-48,8	47,6-49,2
		Eta	0,005-0,007	0,005-0,007	0,01-0,03	0,07-0,1	0,5-0,7	0,3-0,5

ahol:

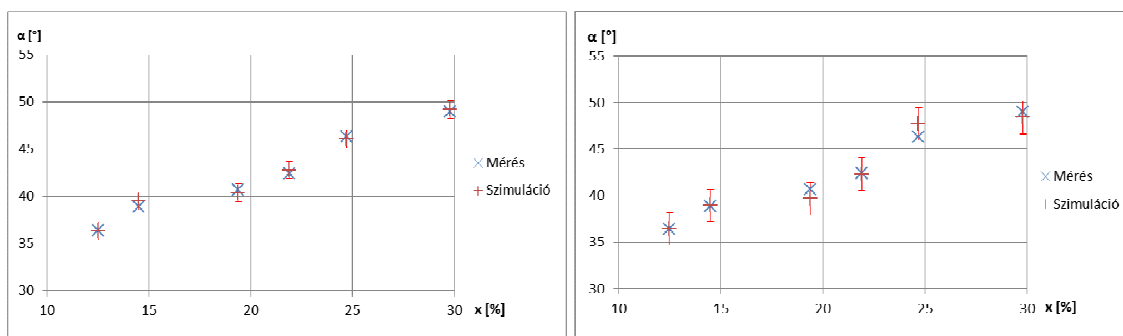
α_m – a méréssel meghatározott rézsűszög [°]

α_{sz} – a diszkrét elemes modellezéssel meghatározott rézsűszög [°]

Eta – a dimenzió nélküli gördülő és csavaró szilárdság [1]

4.2. Méréssel és modellezéssel kapott rézsűszögek összehasonlítása

A méréssel és modellezéssel kapott rézsűszögek a 7. ábrán láthatók, hibasávval jelöltük a 4.1. alfejezetben megadott intervallumokat.



7. ábra. Baloldalon gömb, jobb oldalon „clump” esetén a rézsűszögek a nedves anyagra vonatkoztatott nedvességtartalom függvényében

Azt tapasztaltuk, hogy a nedvességtartalom növelésével a rézsűszög nőtt és ezt a megfigyelést az elvárások szerint a diszkrét elemes modellezés során is megkaptuk. Annak ellenére, hogy a gömb alkalmazása esetén a kohéziós nyíró- és normálfeszültségek növelésével a szemcsék a szimulációban jobban összetapadtak, a nyíródobozos vizsgálattal [2] ellentétben a nedvességtartalom növekedésével csökkenő tendenciát mutattak, viszont így is hozták az elvárt eredményeket. „Clump” esetén ezeket a feszültségeket növeltük a nedvességtartalom növekedésével, de így is az elvárt eredményeket kaptuk. Tehát a rézsűszög mérésénél inkább az eta paraméterek befolyásolták a rézsűszögek alakulását.

4. ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásunk során hántolt köles esetén szabvány szerinti méréssel és diszkrét elemes modellezéssel (DEM) meghatároztuk a rézsűszögeket különböző nedvességtartalmak esetén. A szemcsék geometriáját gömbbel és több gömbből felépített úgynevezett „clump”-pal közelítettük a modellezések során.

Megfigyelhető volt, hogy a nedvességtartalom növekedésével a rézsűszög értéke is nőtt, amit a számítógépes szimuláció alkalmazásával, megfelelő beállítási paraméterekkel jó közelítéssel modelleztünk.

A mérési adatok segítségével meghatároztuk a diszkrét elemes modellezés során alkalmazott dimenzió nélküli gördülő és csavaró szilárdságokat (*eta*) különböző nedvességtartalmakhoz. Az érzékenységi vizsgálattal elért eredmények, tapasztalatok későbbi kutatásunk során kerülnek felhasználásra.

További tapasztalatunk volt, hogy a szimulációs beállítási paraméterek közül a mikromechanikai rugalmassági modulus növelésével szintén növekedtek a szimulált rézsűszögek nagysága. Valamint a diszkrét elemes modellezés során a rézsűszögek mérésénél a szemcsék közötti összetapadást biztosító kohéziós nyíró- és normálszilárdságok nem befolyásolták számottevően az eredményeket, hanem inkább az *eta* paraméter változtatása volt nagyobb hatással.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet Iván Lászlónak a mérések elvégzéséért, valamint a Richter Gedeon Talentum Alapítványnak (1103 Budapest, Gyömrői út 19-21.) és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak (NKFIH/PD-116326) a munkában nyújtott anyagi támogatásért.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ŠMILAUER, V., et al., *Reference manual. In Yade Documentation 2nd ed The Yade Project, 2015*, DOI 10.5281/zenodo.34073 (<http://yade-dem.org/doc/>)
- [2] HORVÁTH, D., HEGEDŰS, K., VARJU, E.: *Keverős dobszárító keverési teljesítmény szükségletének meghatározása*, Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2016.
- [3] HORABIK, J., MOLENDÁ, M.: *Parameters and contact models for DEM simulations of agricultural granular materials: A review*, Biosystems Engineering 147, p. 206-225, 2016.
- [4] TAMÁS, K., FÖLDESI, B., RÁDICS, J. P., JÓRI, J. I., FENYVESI, L.: *A Simulation Model for Determining the Mechanical Properties of Rapeseed using the Discrete Element Method*, Periodica Polytechnica Civil Engineering, p. 575-582, 2015, DOI: 10.3311/PPci.8173.
- [5] Cundall, P. A., Strack, O. D. L.: *A discrete numerical model for granular assemblies*, Geotechnique 29, p. 47-65, 1979.
- [6] MSZ EN 12047:1998 szabvány: *Szilárd műtrágyák. A statikus rézsűszög meghatározása (az ISO 8398:1989 módosítása)*, 1998.

MEZŐGAZDASÁGI SZEMCSÉS ANYAGOK SZORPCIÓS IZOTERMÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

DETERMINATION OF THE SORPTION ISOTHERMS OF AGRICULTURAL GRANULES

POÓS Tibor¹, SZABÓ Viktor², CSÓKA Bendegúz³

¹adjunktus, poos@mail.bme.hu

¹ Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

²doktorjelölt, szabo.viktor@mail.bme.hu

² Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

³Msc hallgató, bendzsi94@gmail.com

³ Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Gépészmérnöki Kar,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kivonat: Az anyagok szárítása során a szárítógáz és a szárítandó anyag között egyidejű hő- és anyagátadás történik. A felületi nedvesség elpárolgása után az anyag belsejéből intenzívvé válik a nedvesség eltávozása, majd miután az anyag és a szárítógáz nedvességtartalma egyensúlyba kerül, adott állapotjelzők mellett az anyagot már nem lehet tovább szárítani. A szorpciós izoterma írja le az összefüggést a gáz és az anyag nedvességtartalma között, mely kapcsolatot mérési úton határoztunk meg különböző mezőgazdasági anyagokra.

Kulcsszavak: szárítás, egyensúlyi nedvességtartalom, szorpciós izoterma

Abstract: During the drying process there is simultaneous heat – and mass transfer between the drying gas and the material. After the moisture evaporates from the surface of material to the drying gas as water vapor, the remainder moisture will diffuses to the surface. When the moisture content of material and the humidity of drying gas reach the equilibrium state, the material can no longer be dried under certain conditions. The sorption isotherm describes the relationship between the humidity of gas and the moisture content of material, which can be determined using measurements, and can be described by approximating equations.

Keywords: sorption isotherm, drying, equilibrium moisture content

1. BEVEZETÉS

Ha gáz vagy gőz terébe szilárd testet helyezünk, a hőmozgást végző és a felülettel ütköző gázmolekulák a szilárd test felületi molekuláit igen erősen megközelítik, és a közöttük létrejövő vonzóerők folytán, a főtömegben levőkhöz képest eltérő dinamikai viszonyok közé kerülnek. Emiatt a határfelület közelében a gáz vagy gőz főtömegében levőtől eltérő koncentráció alakul ki. Ezt a határfelületi koncentráció-változást felületi adszorpciónak nevezzük [1].

Ha higroszkópos anyagot gőzzel hozunk érintkezésbe az bizonyos mennyiségű gőzt megköt a felületén, adszorbeál. Hosszú idő (elméletileg végtelen idő) múlva beálló állapotot egyensúlyi állapotnak nevezzük. Az egyensúlyi állapot itt is, mint fázisok közötti egyensúlyi állapotnál minden esetben, dinamikus egyensúly: kezdetben telítetlen higroszkópos anyagon gőzmolekulák kondenzálódnak, ugyanakkor a lecsapódott nedvességből párolgással gőzmolekulák lépnek ki. Telítetlen anyagnál a kondenzálódó nedvesség még nagyobb, mint az elpárolgó, így az anyag egyre nedvesebb lesz. Amint az anyag nedvesedik (telítődik), egyre kisebb a különbség a lecsapódó és az elpárolgó molekulák száma között. Az egyensúlyi

állapot az, ahol ez a két mennyiség azonos. Ekkor az anyag telített, a művelet neve adszorpció [2].

Ezen egyensúlyi pontok összesítésével előállítható az adott hőmérséklethez tartozó szorpciós izoterma. A továbbiakban három mezőgazdasági anyag (árpa, amaránt, köles) szorpciós izotermájának határoztuk meg. A korábbi munka során [3] nem európai terményekkel végeztek mérést, viszont az anyagminőség területileg változhat így a cél az, hogy a hazánkban piacon lévő terményekre vonatkozó szorpciós görbéit kapjuk meg.

2. SZORPCIÓS IZOTERMA

Ha telített nedves anyagot megfelelően alacsony nedvességtartalmú gázba helyezzük, az anyag mindaddig nedvességet fog leadni (száradni fog), amíg a környezetében a gőz parciális nyomása el nem éri az anyag belsejében uralkodó gőznyomást. Ez a művelet a deszorpció vagy szárítás. Ekkor az anyag nedvességtartalma az egyensúlynak megfelelő, egyensúlyi nedvességtartalom (X^*). Az anyag egyensúlyi nedvességtartalmához és T hőmérsékletéhez tartozó (p_v) egyensúlyi gőznyomás közötti összefüggést ábrázoló kapcsolat az ún. szorpciós izoterma. A gyakorlatban az egyensúlyi gőznyomás helyett a relatív nedvességtartalmat (φ) ábrázolják, ami az egyensúlyi és a telítési gőznyomás (p_{vt}) hányadosaként értelmezhető:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{vt}} \quad (1)$$

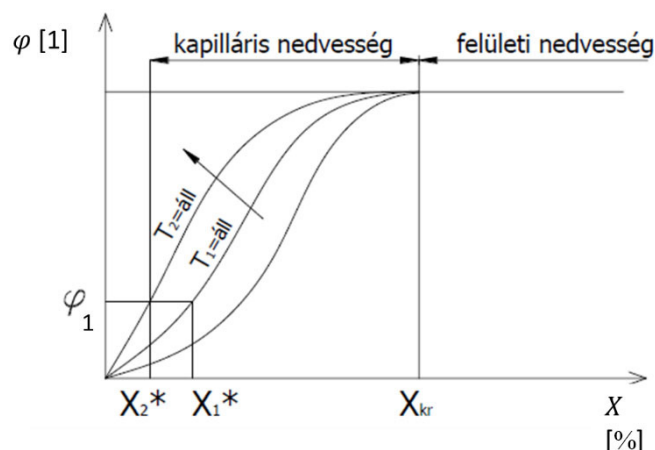
Az anyag egyensúlyi nedvességtartalma az egyensúlyi pontban lévő víz tömegének (m_L^*) és a száraz anyag (m_s) tömegének hányadosa:

$$X^* = \frac{m_L^*}{m_s} \quad (2)$$

A szorpciós izoterma tehát az adott hőmérsékletű és relatív nedvességtartalmú szárítógáz és a szárítandó anyag egyensúlyi nedvességtartalmának kapcsolatát írja le. [2]

$$\varphi = f(X^*) \quad (3)$$

A száradó anyag száradás során elérhető végső nedvességtartalmát, az anyag nedvesség kötési tulajdonságai, valamint a szárítógáz állapotjelzői befolyásolják. Ugyanolyan szorpciós jellemzőkkel rendelkező anyag kiszáríthatósági határa a szárítógáz hőmérséklete és nedvességtartalma szerint különböző lehet, mely az 1. ábrán látható.



1. ábra. Szorpciós izoterma elméleti alakja és hőmérsékletfüggése [2]

Élelmiszerek és mezőgazdasági termények szorpciós izotermájára számos egyenletet határoztak meg, azonban a rendelkezésre álló szorpciós izoterma egyenletek közül egyik sem tudja pontosan leírni a folyamatot úgy, hogy az érvényes legyen különféle gabonákra, a relatív nedvességtartalom és hőmérséklet széles tartományára vonatkozóan. Így egy adott anyag esetében meg kell keresni a legalkalmasabb egyenletet.

A következőkben öt leíró modell kerül bemutatásra, melyekben X az anyag nedvességtartalma, A , B , C pedig konstansok, melyek az 1. táblázatban láthatóak.

1. Táblázat. Szorpciós izotermát leíró modellek [3]

Modell neve	Egyenlet	
Henderson modell	$\varphi \approx 1 - e^{[-A(T+B)X^C]}$	(4)
Chung-Pfost modell	$\varphi \approx e^{\left[\frac{-A}{T+B} \cdot e^{(-CX)} \right]}$	(5)
Halsey modell	$\varphi \approx e^{[-e^{(A+BT)}X^{-C}]}$	(6)
Oswin modell	$\varphi \approx \frac{1}{\left(\frac{A+BT}{X} \right)^C + 1}$	(7)
GAB modell	$\varphi \approx \frac{2 + \frac{C}{T} \left(\frac{A}{X} - 1 \right) - \left[\left(2 + \frac{C}{T} \left(\frac{A}{X} - 1 \right) \right)^2 - 4 \left(1 - \frac{C}{T} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}{2B \left(1 - \frac{C}{T} \right)}$	(8)

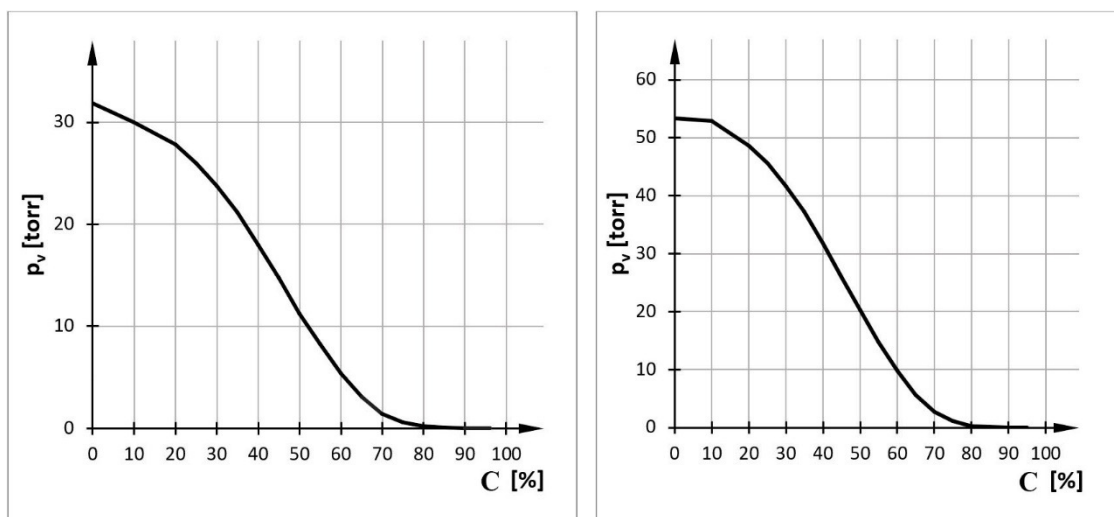
3. MÉRÉS

Tömegmérésén alapuló eljárást, vagyis gravimetrikus módszert alkalmazunk a szorpciós izoterma felvételére. A statikus módszer mérési ideje nagyon nagy, ezért romlandó anyagokra ezt a módszert nem használják [1].

A mérés során különböző koncentrációjú oldatokat hoztunk létre desztillált víz és kénsav különböző arányú összekeverésével. A kénsav ($m_{\text{kénsav}}$) és a desztillált víz ($m_{\text{desztvíz}}$) tömegének, valamint a kénsav koncentrációjának (x) felhasználásával meghatározható az adott koncentráció:

$$C = \frac{x \cdot m_{\text{kénsav}}}{m_{\text{kénsav}} + m_{\text{desztvíz}}} \quad (9)$$

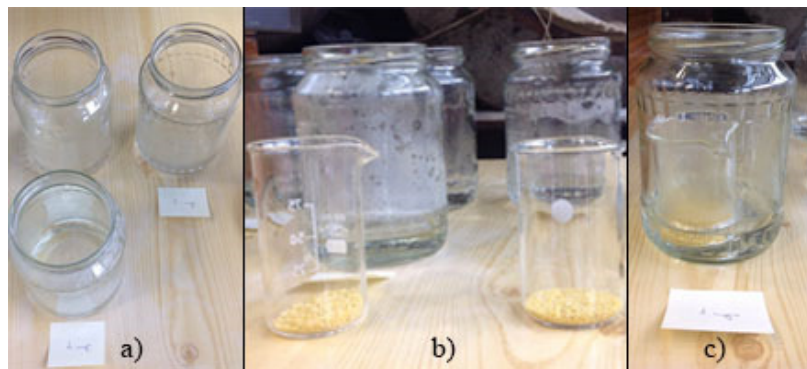
A különböző koncentrációkhoz adott hőmérsékleten más és más gőznyomások tartoznak. Az oldat felett kialakuló relatív gőznyomás attól függ, hogy melyik hőmérsékleten határozzuk meg a szorpciós izotermát. A kialakuló gőznyomás és a létrehozott koncentráció közötti kapcsolatból [4] meghatározható a gőznyomás, mely a 2. ábrán látható, táblázat alapján pedig a telítési gőznyomás, így a relatív páratartalom is meghatározható.



2. ábra. a) Gőznyomás a koncentráció függvényében 30 °C-on, b) Gőznyomás a koncentráció függvényében 40 °C-on

A kiértékeléshez szükség van a szárazanyag tömegére és a nedvesanyagban lévő víz tömegére. Az egyensúly beállta után a nedves anyagot lemérve, majd abból a kiszáritott anyag tömegét levonva megkapjuk a nedvesség tömegét, így a nedvességtartalom már számítható a (2) egyenlet alapján. Mindezek ismeretében pedig a szorpciós izoterma egyes pontjai ábrázolhatóak.

A zárt teret, ahol a nedvesítés végbement, befőttes üvegek biztosították, ezekben lett létrehozva a kénsavas oldat. Ezután kis mérőedényekbe lett behelyezve a szemcsés anyag (árpa, köles, amaránt).



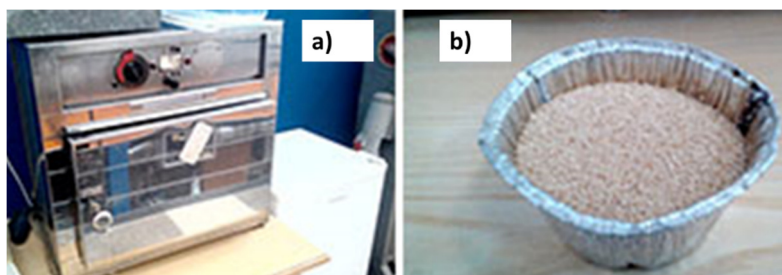
3. ábra. a) Befőttesüveg kénsav oldattal, b) Mérőedény a szemcsés anyaggal, c) Mérőedény elhelyezése a befőttes üvegben

A mérőedények ezután bekerültek a 3. ábrán látható befőttesüvegekbe. A befőttesüvegeket ezután a 4. ábrán látható vízzel töltött berendezésben helyezzük el, mely állandó hőmérsékletet biztosított a nedvesítés teljes időtartama alatt, ami 3-4 napot jelentett. Az árpa és az amaránt esetében 30 °C, míg a köles esetében 40 °C-on lettek elvégezve a mérések.



4. ábra. Állandó hőmérsékleten tartás termosztáttal ellátott készülékben

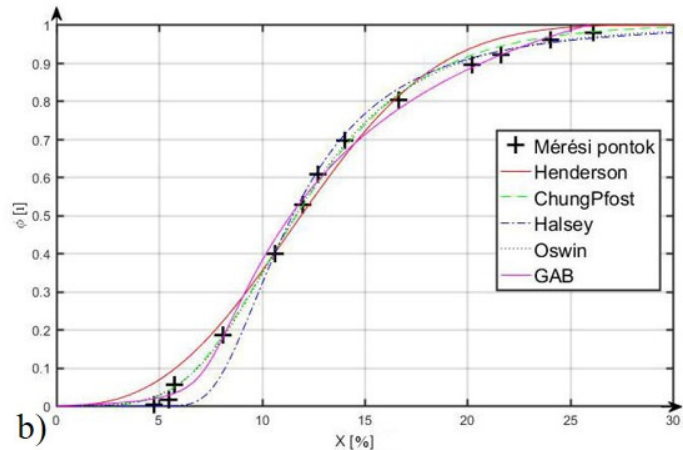
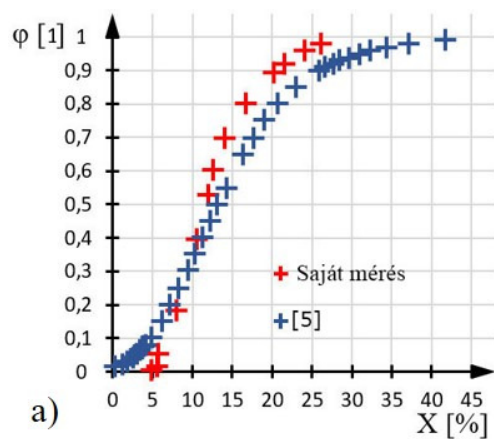
A nedvesítést követően megtörtént a vizsgált anyag tömegmérése, majd a 24 órán keresztül az 5. ábrán látható 105 °C-os kemencében történő szárítást követően ismét le lett mérve a tömege.



5. ábra. a) Szárítókemence, b) A szárítandó anyag (jobbra)

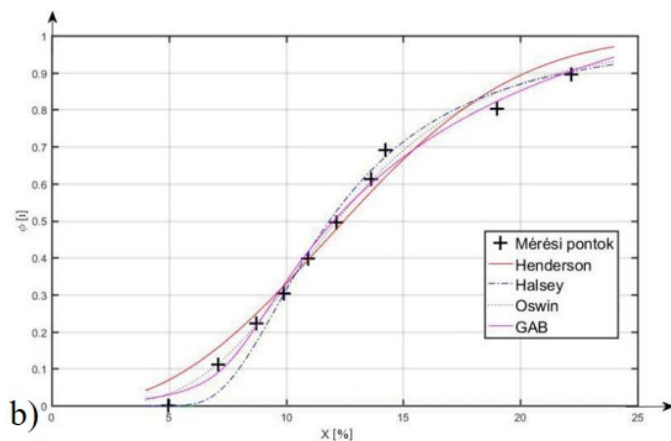
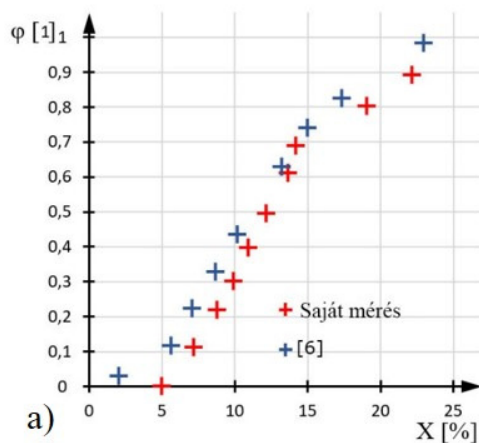
4. EREDMÉNYEK

A 6-8. ábrán láthatóak a három anyagra vonatkozó mérési eredmények. Az a) diagramokon látszik az adott anyaghoz tartozó saját mérési eredmény összehasonlítása a szakirodalmi adatokkal [5-7]. A piros pontok a saját mérési eredmények, a kékek pedig az irodalmiak. A b) diagramokon az 1. táblázatban látható szorpciós izoterma modellek alapján, a saját mérési pontokra való illesztés látható.



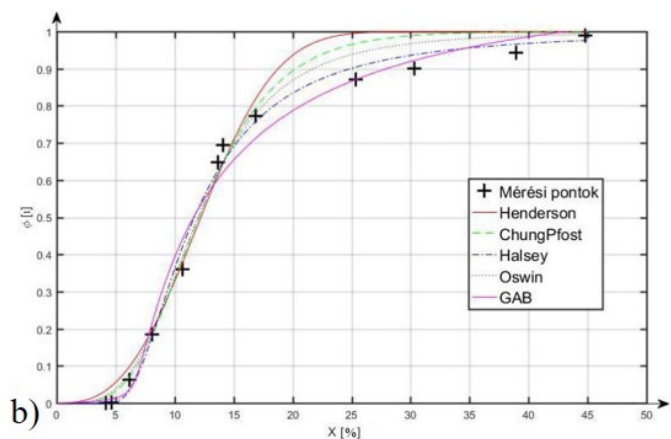
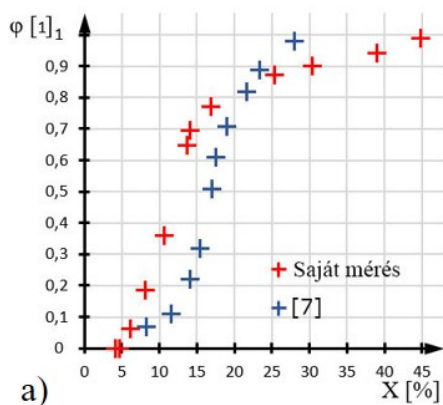
6. ábra. Árpa mérési eredményei 30 °C-on

a) Irodalmi adatokkal való összehasonlítás [5], b) Görbeillesztés a saját mérési pontokra



7. ábra. Amaránt mérési eredményei 30 °C-on

a) Irodalmi adatokkal való összehasonlítás [6], b) Görbeillesztés a saját mérési pontokra



8. ábra. Köles mérési eredményei 40 °C-on

a) Irodalmi adatokkal való összehasonlítás [7], b) Görbeillesztés a saját mérési pontokra

Az egyes anyagokhoz előállított leíró görbék illeszkedését a legkisebb négyzetek módszerével vizsgáltuk. A determinációs együtthatók a 2. táblázatban láthatók. Ezek közül minden esetben azt választottuk, amelyik a legnagyobb értéket adta. A kapott egyenletek, valamint a hozzájuk tartozó determinációs együtthatók a 3. táblázatban láthatók.

2. Táblázat. Determinációs együtthatók

Modell	Árpa	Amaránt	Köles
Henderson modell	0,9877	0,9745	0,9763
Chung-Pfost modell	0,9980	-	0,9847
Halsey modell	0,9910	0,9849	0,9937
Oswin modell	0,9987	0,9935	0,9895
GAB modell	0,9969	0,9922	0,9870

A determinációs együtthatók minden esetben 0,97 feletti korrelációt mutatnak, ezért mindegyik modell alkalmas a szorpciós izotermák leírására (kivéve amaránt, Chung-Pfost modellel hamis eredményt kaptunk). A 3. táblázat a legnagyobb determinációs együtthatójú elemeket tartalmazza.

3. Táblázat. Kapott leíró egyenletek

Anyag	Modell	Egyenlet	R ²	
Árpa	Oswin	$\varphi \approx \frac{1}{\left(\frac{-91884,4}{X} \right)^{2,636} + 1}$	0,9980	(10)
Amaránt	Oswin	$\varphi \approx \frac{1}{\left(\frac{12.153}{X} \right)^{3,82} + 1}$	0,9935	(11)
Köles	Halsey	$\varphi \approx e^{\left[-e^{-234,337} X^{-2,485} \right]}$	0,9937	(12)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat során az árpa, az amaránt és a köles adott hőmérsékleten vett szorpciós izotermáit határoztunk meg, melyek az adott anyag nedvességtartalmának, valamint a szárító levegő relatív nedvességtartalmának kapcsolatát írják le állandó gázhőmérséklet mellett.

Az egyensúlyi pontokat víz-kénsav oldat segítségével hoztuk létre, mely a relatív nedvességtartalmat határozta meg a kénsav vízkötő képességéből kifolyólag. Az anyag nedvességtartalmát tömegméréssel, ún. gravimetrikus eljárással határoztuk meg. Ez a két összetartozó értékpár alkot egy mérési pontot, melyekből összeállítható a szorpciós izoterma.

A kapott eredményeket összevetettük a szakirodalomban található korábbi mérésekkel, így egyrészt bebizonyosodott, hogy a mérőberendezés megfelelően alkalmazható a különböző anyagok szorpciós izotermáinak meghatározására, másrészt új adatokat nyertünk a mérés elvégzésével.

A modellek alapján görbéket illesztettünk az eredményekre, melyek közül a legnagyobb determinációs együtthatójú modelleket választottuk minden anyag esetében. További alkalmazásra, felhasználásra ezeket javasoljuk.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet a Richter Gedeon Talentum Alapítványnak (1103 Budapest, Gyömrői út 19-21.) és az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramnak (NKFIH/PD-116326) a munkában nyújtott anyagi támogatásért.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **IMRE, L.,** *Szárítási kézikönyv.* Műszaki könyvkiadó, Budapest, , ISBN 025-900-119-748-0
- [2] **ÖRVÖS, M., POÓS, T.,** *Diffúziós eljárások és berendezések I. rész.* Oktatási segédlet BME, Budapest, 2015.
- [3] **AVIARA, N. A., AJIBOLA, O. O., AREGBESOLA, O. A., ADEDEJI, M. A.,** *Moisture sorption isotherms of sorghum malt at 40°C and 50°C,* Journal of Stored Products Research 42, p. 290–301, 2006.
- [4] **JOHN, H. P.,** *Vegyésmérnökök kézikönyve.* Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1969. ISBN 066-900-105-440-7
- [5] **BASUNIA, M. A., ABE, T.,** *Adsorption isotherms of barley at low and high temperatures,* Journal of Food Engineering 66, p.129–136, 2005.
- [6] **PAGANO, A. M., MASCHERONI, R. H.,** *Sorption isotherms for amaranth grains,* Journal of Food Engineering 67, p.441–450, 2005.
- [7] **RAJI, A. O., OJEDIRAN, J. O.,** *Moisture sorption isotherms of two varieties of millet,* Food and Bioproducts Processing 89, p.178–184, 2011.

MAG-HÉJ SZERKEZETŰ SZÉN NANOCső ALAPÚ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF CARBON NANOTUBE COATED CORE-SHELL STRUCTURED NANOCOMPOSITE CATALYSTS

PREKOB Ádám¹, SIKORA Emőke², VANYOREK László³

¹hallgató, prekob.a@gmail.com

¹Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

²hallgató, emokesikora@gmail.com

²Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

³adjunktus, vanyorekl@gmail.com

³Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: Kutatásunk során olyan BCNT-zeolit mag-héj szerkezetű katalizátorhordozó előállítását tűztük ki célul, mely a szén nanocsöveknek köszönhetően rendelkezik egy előnyös katalizátorhordozó tulajdonságaival, valamint könnyű kezelhetőséget és eltávolíthatóságot biztosít a technológia során. A hordozóra palládium nanorészecskéket vittünk fel, melyek hatékonyságát katalitikus hidrogénezési folyamatban teszteltük. A butilén gázfázisú hidrogénezés során 50°C-on 95%, 100°C-on 97% konverziót értünk el. A katalizátort oktadecén folyadékfázisú hidrogénezésében is teszteltük, mely folyamatban 70°C-on az oktadecén 97%-a alakult át, míg 90°C-on teljes konverziót tapasztaltunk. Az eredmények nagy katalitikus aktivitást bizonyítottak. Mivel katalizátorunk palládium tartalma mindössze 0,03 m/m % volt a zeolit tömegére vonatkoztatva, így alacsony fémsó mennyiséggel sikerült egy felhasználóbarát, nagy katalitikus aktivitású katalizátort létrehozunk.

Kulcsszavak: nanocső; BCNT; mag-héj; katalizátor; hidrogénezés

Abstract: In this research, core-shell structured catalyst carriers were made, that have the properties of an advantageous catalyst carrier with easy application and removability. Palladium nanoparticles were made on their surface, then tested in catalytic hydrogenation reactions. In the gas phase hydrogenation the conversion of the butene on 50°C was 95%, on 100°C 97%. The catalyst was also tested in liquid phase hydrogenation, in this case, on 70°C the conversion of the octadecene was 97%, on 90°C the octadecene reached full conversion after 40 minutes. The results show high catalytic activity. In case of the palladium BCNT-zeolite the palladium amount was 0,03 m/m% referring to the mass of the zeolite, so with the use of a low amount metal salt, a user-friendly catalyst was created with high catalytic activity.

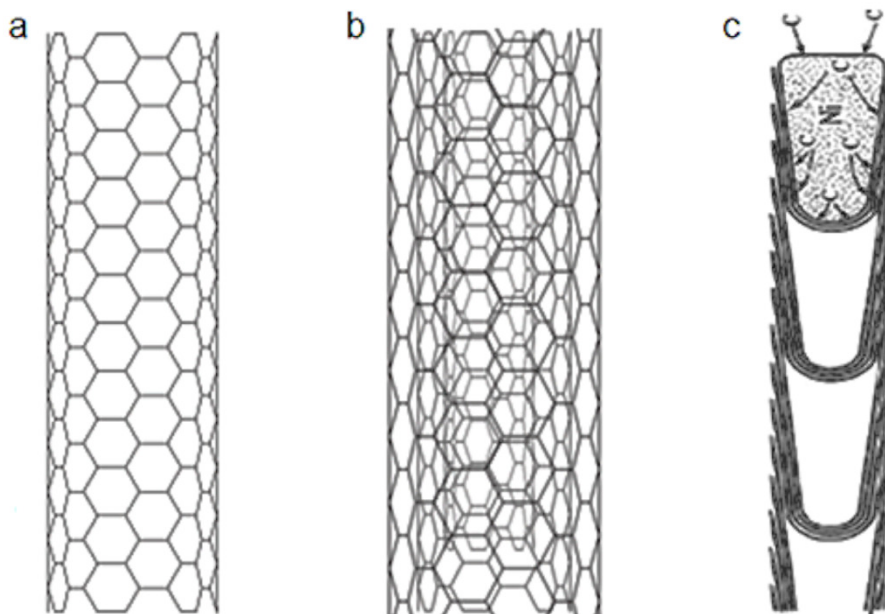
Keywords: nanotube; BCNT; core-shell; catalyst; hydrogenation

1. BEVEZETÉS

A szén nanocsöveket Sumio Iijima fedezte fel 1991-ben [1]. Felfedezése óta számos struktúrája vált ismertté, mint az 1. ábrán látható egyfalú, többfalú, illetve bambusz szerkezetű szén nanocsövek (BCNT). Ezek a nanocsövek kiválóan alkalmazhatók katalizátorhordozóként, mivel rendelkeznek a hordozóktól elvárt tulajdonságokkal, mint a termikus stabilitás, kitűnő hővezetés, jó mechanikai szilárdság és a reakciókkal szembeni inertesség. Fontos sajátosságuk továbbá, hogy nano méreteiknek köszönhetően nagy fajlagos felülettel rendelkeznek, ezen kívül nem tartalmaznak mikropórusokat, melyek a reakciók sebességét csökkentenék. Kutatásaink kezdeti stádiumában egyfalú (SWCNT) és többfalú (MWCNT) szén nanocsövekkel kísérleteztünk, melyek azonban szabályos szerkezetük miatt kevés szerkezeti hibahelyet tartalmaztak, korlátozott a adszorpciós szempontból megkülönböztetett helyek száma így rajtuk viszonylag kevés katalitikusan aktív fém

lehetett megkötni. Ebből adódóan áttértünk a bambusz szerkezetű CNT-k alkalmazására, melyek a létrejövő éleknek köszönhetően lényegesen több hibahellyel rendelkeznek.

A nanocsövek por állagúak, és méretüknek, valamint felületük elektrokinetikai jellemzői miatt képesek stabil diszperziót képezni a reakcióközeggel, emiatt ipari technológiákban nehezen alkalmazhatók és a termékéből csak körülményesen távolíthatók el. Az előzőekben ismertetett okok miatt, kutatásunk célja egy felhasználóbarát, egyszerűen kezelhető, illetve könnyen eltávolítható katalizátor létrehozása volt, ezért egy különleges a mag-héj szerkezetű nanokompozitot állítottunk elő, amelyet mint katalizátor hordozót használtunk fel.



1. ábra. Egyfalú (a), többfalú (b), és bambusz szerkezetű (c) szén nanocsövek [2]

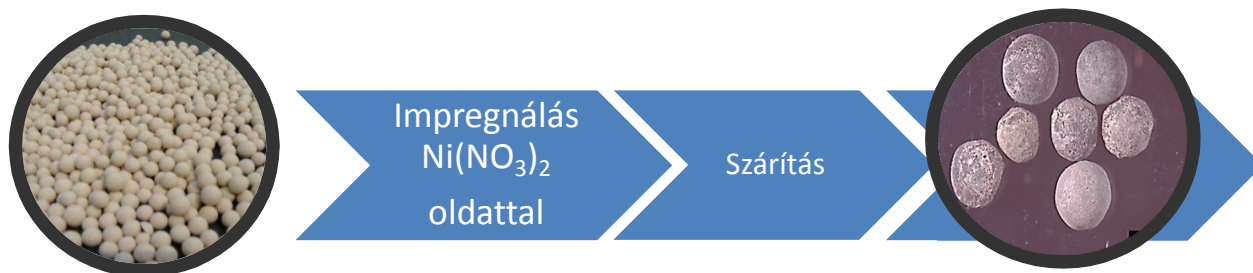
2. A MAG-HÉJ SZERKEZETŰ KATALIZÁTOR ELŐÁLLÍTÁSA

A mag-héj szerkezet létrehozását 2 lépésben végeztük:

- 1) Szén nanocsövek növesztése a hordozóként szolgáló zeolit magon;
- 2) Katalitikusan aktív fém felvitele a szén nanocső hordozóra.

2.1. BCNT-zeolit kompozit előállítása CCVD szintézis segítségével

CCVD (Catalytic Chemical Vapour Deposition) módszer segítségével először Yacaman [3] és Ivanov [4] állított elő nanocsöveket. A módszer lényege, hogy széntartalmú vegyületeket bontunk el magas hőmérsékleten, katalizátor alkalmazása mellett. A szénforrás megfelelő megválasztásával különböző szerkezetű nanocsövek hozhatók létre, így a szénforrás gondos kiválasztása kulcsfontosságú.

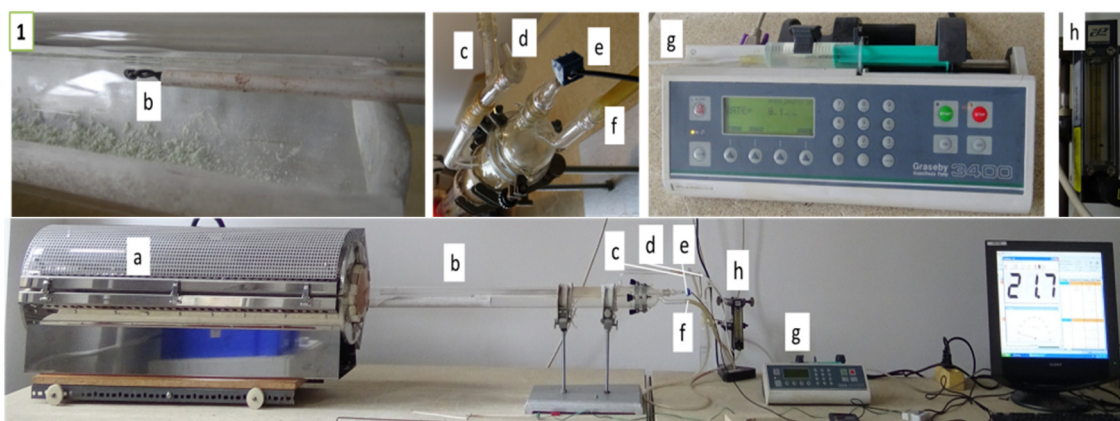


2. ábra. BCNT-zeolit kompozit előállításának folyamata

Az előállítandó katalizátor magjaként átlagosan 2 mm átmérőjű zeolit gyöngyöket alkalmaztunk. A szén nanocső növesztéséhez $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ katalizátort használtunk, amiből 2,48 g-ot először 200 ml Patosolvban oldottuk fel. A következő lépésben 99,5 g Grace MS 4A jelű zeolit gyöngyöket szórtunk az oldatba, és 10 perces ultrahangos homogenizálás következett. A Patosolvot vákuumbepárlóval távolítottuk el, majd 105 °C-on szárítószekrényben szárítottuk anyagot egy éjszakán keresztül.

A CCVD szintézishez az így impregnált zeolit hordozós katalizátorból 10 g-ot kimértünk egy kvarccsónakba, amit a 3. ábrán látható kvarcreaktorba (b) helyeztünk. A reaktort eközben csőkemencével (a) 700 °C-ra fűtöttük fel. A katalizátorágy fölé a (c) nyíláson beengedett nitrogén vivőgáz segítségével butil-amin gázt áramoltattunk szénforrásként a (d) nyíláson. A butil-amin injektálást egy infúziós pumpa (g) segítségével 6 ml/óra sebességgel végeztük. A nitrogén vivőgáz áramlási sebességét 100 ml/perc-re állítottuk egy (h) rotaméter segítségével. A 20 perces szintézis közben a hőmérsékletet a reakcióterben elhelyezett hőelem (e) segítségével kontrolláltuk.

Az előállított kompozitot pásztázó elektronmikroszkópiával (SEM) vizsgáltuk meg, hogy bizonyítsuk a szén nanocsövek jelenlétét a zeolit gyöngy felületén, illetve megmérjük a nanocsövek átmérőit.



3. ábra. CCVD berendezés: a) csőkemence b) reaktor c) nitrogén betáplálás d) szénforrás beinjektálás e) hőmérsékletmérés f) gázvezetés g) infúziós pumpa h) rotaméter

2.2 Palládium nanorészecskék létrehozása a szén nanocső hordozókon

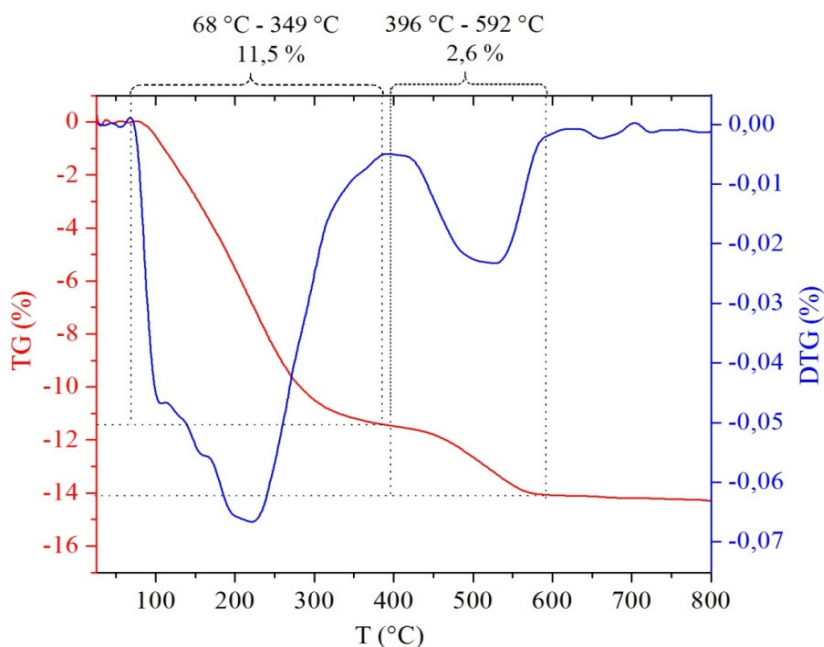
A palládium részecskék létrehozásához PdCl_2 prekuzort alkalmaztunk, melyből 0,5 g-ot 20 ml víz és 5 ml cc. sósav elegyében oldottunk fel. Az oldatba 20 g szén nanocsöves zeolitot szórtunk, majd 10 perces ultrahangos kezelést követően az oldatot leöntöttük a termékről és egy éjszakára 105 °C-os szárítószekrényben szárítottuk. A szárítást fél órás nitrogén atmoszférás kalcinálás követte, amely után hidrogén segítségével 400 °C-on fém palládiummá redukáltuk a felvitt Pd-komplexet. Az eredményről SEM felvétellel és EDX spektrum vizsgálatával győződünk meg.

Az elkészített katalizátort gáz-, illetve folyadékfázisú hidrogénezési reakciókban teszteltük, hogy képet nyerjünk a katalizátor aktiválási idejéről és az általa elérhető konverziókról.

3. A KATALIZÁTOR VIZSGÁLATA

3.1. A BCNT-zeolit kompozit vizsgálata

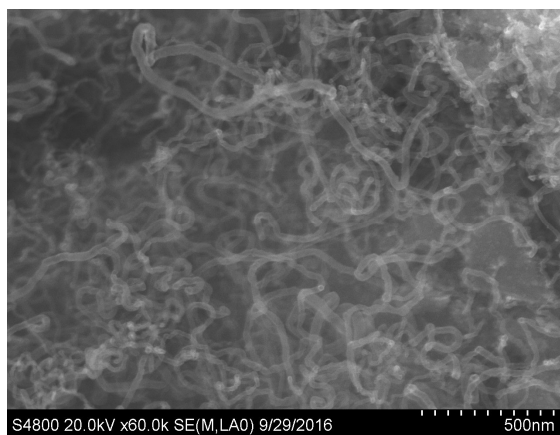
A széntartalom kimutatására először termogravimetriás mérést alkalmaztunk. Az eredményeket a 4. ábra mutatja be. Megállapítottuk, hogy a szén tömege a zeolit tömegére vonatkoztatva 2,6 m/m% lett.



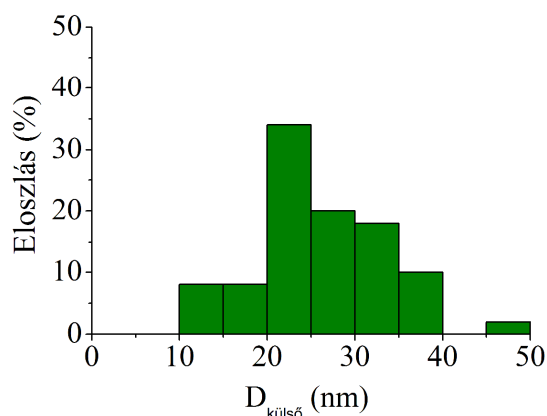
4. ábra. Nitrogén dópolt BCNT TG és DTG görbéi

A diagramon két anyagcsoport eltávovása látszik. Az első lépcső 68 °C-tól a nedvességtartalom távovására utal. 396 °C után újabb esést tapasztaltunk, ami esetünkben a széntartalom eléégésének a szakasza.

A termogravimetriai mérés mellett SEM felvételeket is készítettünk (5. ábra), melyen jól látható a BCNT létrejötte. A csövek átmérőit megmértük, majd az eredményekből méreteloszlási diagramot készítettünk (6. ábra).



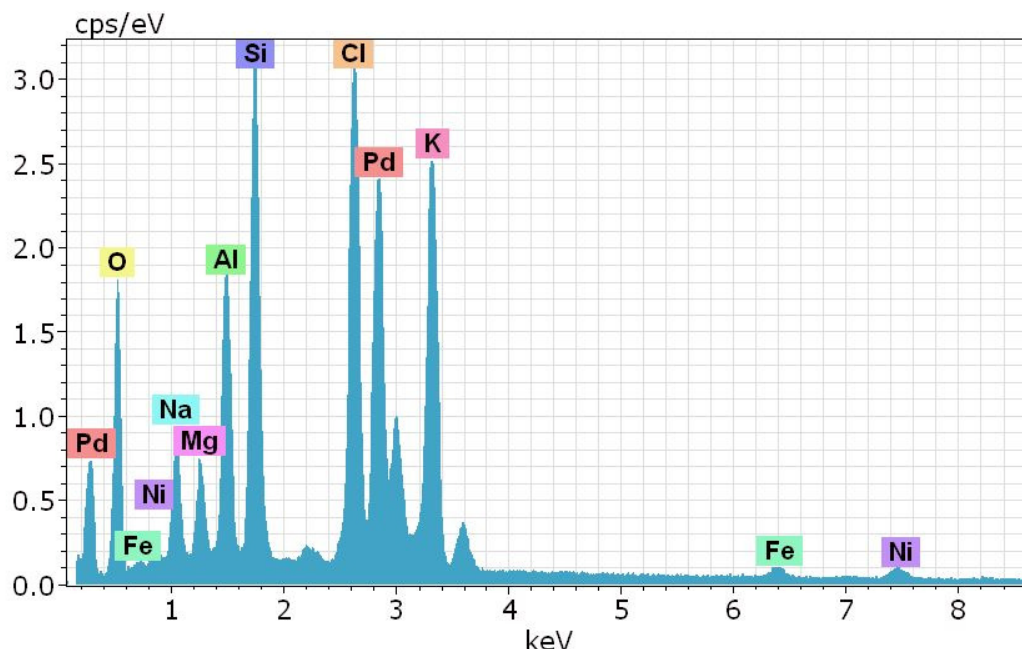
5. ábra. BCNT-zeolit SEM felvétele



6. ábra. BCNT csőátmérőinek eloszlása

3.2. A palládium tartalmú BCNT-zeolit katalizátor vizsgálata

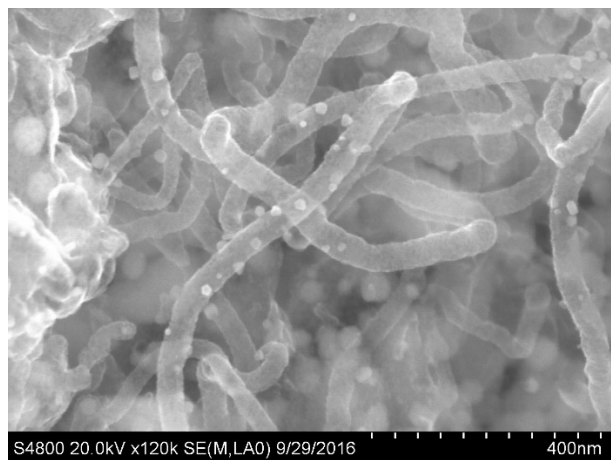
A BCNT felületén létrehozott palládium nanorészecskék képződését EDX (7. ábra), illetve SEM módszer (8. ábra) segítségével igazoltuk, átmérőik ismeretében pedig méreteloszlási diagramot (9. ábra) készítettünk.



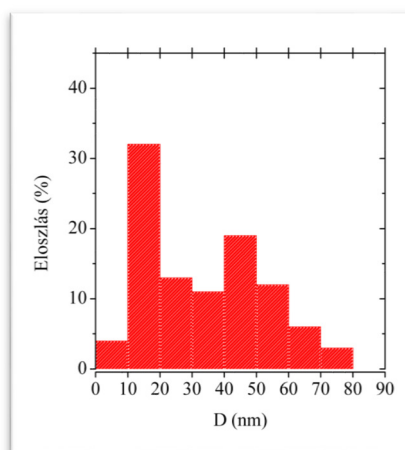
7. ábra. Pd tartalmú BCNT-zeolit katalizátor EDX felvétele

A katalizátor EDX spektrumán a Pd két csúcsnál is jelentkezik, ami igazolja a palládium részecskék kialakulását. Megfigyelhetünk továbbá klórtartalmat, amely a PdCl_2 -ből maradt vissza, illetve egyéb elemeket, melyek a zeolit alkotói.

A SEM felvétel is bizonyítja, hogy a BCNT-k felületén kialakultak a Pd-részecskék. Átmérőinek mérése alapján megállapítottuk, hogy többségük nagyjából 20 nm átmérővel rendelkezik. ICP méréssel meghatároztuk, hogy a Pd tartalom 0,03 m/m% lett a zeolit tömegére vonatkoztatva.



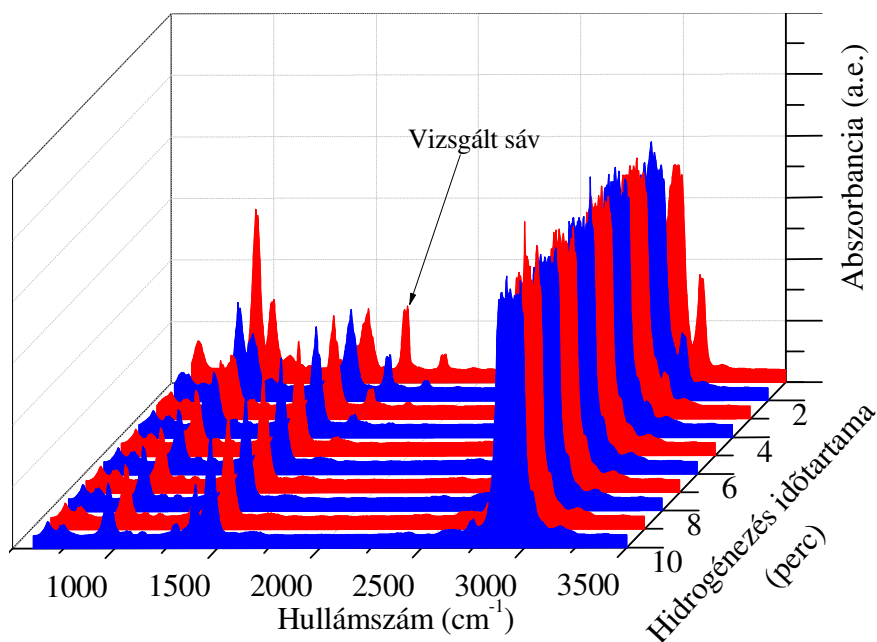
8. ábra. Pd nanorészecskék SEM felvétele



9. ábra. Pd részecskék átmérőinek eloszlása

4. A KATALIZÁTOR TESZTELÉSE KATALITIKUS HIDROGÉNEZÉSI REAKCIÓBAN

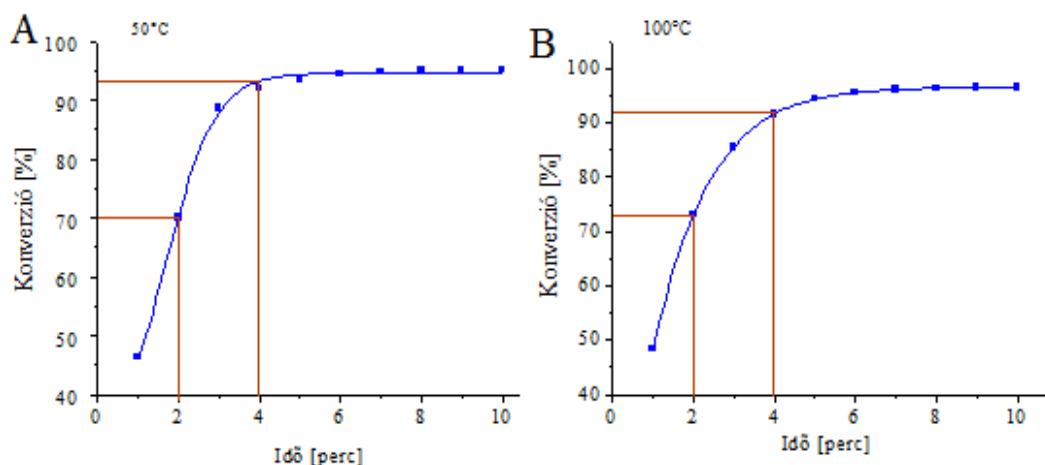
A katalizátort gáz-, illetve folyadék fázisú hidrogénezési reakcióban teszteltük, hogy megállapítsuk az aktiválási időt, illetve az elérhető konverzió mértékét. A gázfázisú reakcióban butént, a folyadékfázisú esetében pedig oktadecént hidrogéneztünk. A reakció követésére FTIR eljárást alkalmaztunk. A 10. ábrán a felvett IR spektrumok egyike látható. A számunkra értékes információt hordozó sávok 1642 cm^{-1} -es hullámszámnál jelentek meg. Ezek ugyanis a $\text{C}=\text{C}$ kettőskötések vegyértékrezgésének a sávjai. Az idő előrehaladtával a sávok alatti területek csökkentek, tehát az olefin molekula kettős kötése telítődtek. A sávterületek integrálását követően olefin konverziót számítottunk.



10. ábra. Olefin - hidrogénezése közben felvett - IR spektrumai

4.1. Butén hidrogénezése Pd tartalmú BCNT-zeolit katalizátor segítségével

A butén hidrogénezése során butén, nitrogén és hidrogén gázelegyét vezettük keresztül a katalizátorágyon, majd a gázelegy ezt követően az FTIR készülék gázküvetáján haladt keresztül, ahol felvettük az infravörös spektrumát. A reakciókat $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, majd $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on vizsgáltuk. A 11. ábra a konverziós eredményeket mutatja.

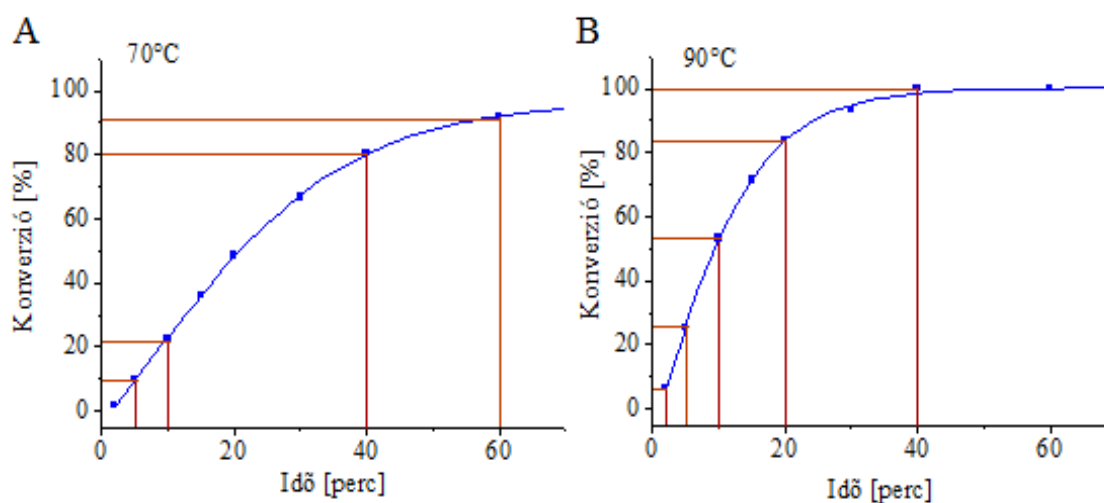


11. ábra. Butén konverziós eredményei $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on (A) és $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on (B)

Jól látható, hogy mindkét esetben magas konverziót (95-97%) értünk el. Ezeket a reakciókat azonban az aktiválódási idő meghatározásához használtuk fel, amiről megállapítottuk, hogy 4 perc elteltével a katalizátor már elérte az aktivitásának maximumát.

4.2. Oktadecén hidrogénezése Pd tartalmú BCNT-zeolit katalizátor segítségével

Az oktadecén hidrogénezése során a katalizátort oktadecén-oktanol elegyében tettük. A katalizátorágyon hidrogén gázáramot engedtünk keresztül, majd bizonyos időközönként folyadékmintát vettünk és felvettük FTIR segítségével az IR spektrumokat. A reakciók 70 °C és 90 °C-on mentek végbe. A sáv alatti területek integrálásának segítségével a 12. ábra szerinti konverziós eredményeket kaptuk.



12. ábra. Oktadecén konverziós eredményei 70 °C-on (A) és 90 °C-on (B)

Ezeket a reakciókat a hatásfok meghatározása céljából vizsgáltuk: 70 °C-on 60 perc elteltével 97%, 90 °C-on pedig már 40 perc után teljes konverziót tapasztaltunk.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során mag-héj szerkezetű, BCNT-zeolit alapú, Pd-tartalmú katalizátort hoztunk létre, mely könnyen kezelhető és a folyamat végén eltávolítható katalizátor. A BCNT-zeolit hordozó tökéletesen megfelel az elvárásoknak, rendelkezik az elvárt termikus stabilitással, nagy mechanikai szilárdsággal és jó hővezetéssel. Már alacsony (0,03 m/m%) Pd tartalommal is nagy katalitikus aktivitást sikerült elérnünk olefinek gáz- és folyadék-fázisú hidrogénezése során. A konverziós eredmények bizonyították, hogy a katalizátor mindössze 4 perc elteltével elérte az aktivitása maximumát.

1. táblázat. Butén és oktadecén konverziós eredményei

butén hidrogénezése		oktadecén hidrogénezése	
Hőmérséklet	Konverzió	Hőmérséklet	Konverzió
50 °C	95 %	70 °C	97 %
100 °C	97 %	90 °C	Teljes

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **IJIMA, S.** *Nature* 1991, 354, 56–58
- [2] **VANYOREK L.** *Szén nanoszorbensek és katalizátorok előállítása és alkalmazási lehetőségei a kémiai és a környezetvédelmi technológiákban* 2015, Ph.D. értekezés, M.E. Műszaki Anyagtudományi Kar.
- [3] **YACAMAN, M. J.; YOSHIDA, M. M.; RENDON, L.; SANTIESTEBAN, K.G.** *Appl. Phys. Lett.* 1993, 62, 202
- [4] **IVANOV, V.; J. NAGY B.; LAMBIN, Ph.; LUCAS, A. A.; ZHANG, X.B.; ZHANG, X.F.; BERNAERTS, D.; VAN TENDELOO, G.; AMELINCKX, S.; VAN LANDUY, J.** *Chem. Phys. Lett.* 1994, 223, 329

MICRO- ÉS NANOMÉRETŰ PÓRUSTEREKBE TÖRTÉNŐ GÁZÁRAMLÁS VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF GAS FLOW IN MICRO- AND NANOSIZED POROUS MEDIA

PUSZTAI Patrik¹, JOBBIK Anita²

¹műszaki ügyintéző, pusztai@afki.hu

¹Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

²osztályvezető, jobbik@afki.hu

² Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A világ egyre növekvő energiaigénye, valamint a fosszilis energiahordozók jövőbeli készletnövekedésének, hosszú távú prognózisok alapján jelzett csökkenése magával vonta az egyre nehezebben hozzáférhető fosszilis, illetve a megújuló energiaforrások hasznosításának növekvő trendjét. Szénhidrogének és különösen a földgáz tekintetében a világ termelésében egyre nagyobb mértékben vannak jelen az ún. nem-hagyományos vagy más néven nem konvencionális szénhidrogének. Mely nem-hagyományos szénhidrogén előfordulások kutatása és termelésbe állítása izgalmas, komoly szakmai és műszaki kihívásokat állít a jelen és jövő mérnökei elé.

Kulcsszavak: anyagmérleg egyenlet, adszorpció, gázáramlás

Abstract: The growing requirement for energy and decreasing quantity of fossil fuels are forced the present engineers to find alternative solutions. This phenomenon is valid in case of hydrocarbons too, where the role of unconventional reservoirs is getting more significant at recent times. Natural gas production from these types of reservoirs has been developed remarkably in the past few decades thanks to the technology advancement.

Keywords: material balance, adsorption, gas flow

1. BEVEZETÉS

Ezen nem-hagyományos szénhidrogének (jelen dolgozat esetében természetes földgáz) jellemzően rendkívül kis pórusterekben találhatók, melyek hatással vannak az áramlásokat leíró egyenletekre és a tárolót jellemző anyagmérleg egyenletre. Magyarországi körülményeket tekintve a kis pórusterek mellett rendkívül magas nyomás és hőmérséklet értékek is jellemzőek. Az alábbi körülmények között lévő földgázt tartalmazó rezervoárok viselkedésének tanulmányozása elengedhetetlen a nem-konvencionális földgáz tárolók (tömött homokkő tárolók, palagáz tárolók) gazdaságos kitermeléséhez.

Ebben a munkában a különböző áramlási modellek összehasonlítása és elemzése kerül bemutatásra egy új bővített anyagmérleg egyenleten keresztül, mely a nem konvencionális földgáz tárolókban jelenlévő mechanizmusok valamennyiét jellemzi. A modellen keresztül egy gazdasági elemzés is bemutatásra kerül, melynek segítségével a tárolók gazdasági elérhetősége különböző hozamnövelő eljárások segítségével vizsgálható. Végezetül egy magyarországi hidraulikusan rétegrepesztett földgáztároló termelési eredményein keresztül vizsgáltam a modell alkalmazhatóságát.

2. BASIC MECHANISM

Mivel az átlagos pórusméretek a nem-hagyományos földgáztárolók esetében mindössze 1-2 nagyságrenddel nagyobbak, mint az abban jelenlévő földgáz molekulák (főként metán

molekula), így kimagasló fontosságú a gáztárolás szempontjából jelenlévő mechanizmusok megértése és figyelembe vétele. Jellemzően 5 mechanizmust különböztetünk meg, amelyek sorra [1]:

1. adszorbeálódott gáz a pórusok belső felületén
2. konvencionális (nyomás alatti gáz) tárolás a természetes és hidraulikusan indukált repedésben
3. konvencionális tárolás a porózus mátrixban (szerves és szervetlen)
4. formáció vízben oldott formában jelenlévő földgáz
5. abszorbeálódott földgáz a szerves anyagban

Mivel a meglévő modellek jellemzően alul becsülik az ilyen tárolókból történő termelések értékeit, így dolgozatomban fő célja a lehető legtöbb jelenség integrálása egy modellbe, amely még matematikailag könnyen kezelhető. Ezért a szakirodalomban kidolgozott anyagmérleg egyenletek bővítése a fentebb említett mechanizmusokkal elengedhetetlen fontosságú volt.

Magyarországi rezervoárokat tekintve jellemzően kevésbé repedezett formációk vannak jelen, mint az Egyesült Államokban található kismélységű palagáz tárolók, így a 2. jelenséget elhanyagolhatónak tekintettem. Ezen kívül a repedések inhomogén eloszlása nagymértékű bizonytalanságot eredményezne repedezett formációk esetén, melyeket csak modern geofizikai feltérképezésekkel és összetett rezervoármechanikai modellezésekkel lehetne csökkenteni.

A Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutató Intézetében (AFKI) vizsgált magminták általában kismértékű szerves anyag tartalommal rendelkeztek, így az 5. pont, vagyis a szerves anyagban megkötött (abszorbeált) földgáz jelenlétének vizsgálata is elhanyagolható volt. Az 1., 3. és 4. pontok modellbe való megfelelő integrálása elfogadható közelítést adott a magyarországi nem-konvencionális földgáztárolók jellemzésére.

3. ANYAGMÉRLEG EGYENLET

Rezervoármechanikai terminológiában az anyagmérleg egyenletek egy anyag megmaradási összefüggést fejeznek ki, melyeknek köszönhetően becsülhetővé válik a tároló termeltetéséből eredő nyomáscsökkenés. Tömött kis pórusterekkel rendelkező formációk esetében rendszerint megfelelő pontossággal alkalmazhatóak a zárt tárolókra jellemző anyagmérleg egyenletek. Jelen modellben is ezt alkalmaztam. A kitermelés hatására bekövetkező nyomáscsökkenés következtében az alábbi jelenségek mennek végbe: a porózus mátrixban jelenlévő földgáz tágulása, a kőzet és a formáció víz tágulása, a pórusok belső felületén adszorbeálódott gáz leválása, valamint a formáció vízben oldott földgáz kiválása. Ezek a jelenségek redukálják a nyomáscsökkenés értékét, ezáltal kisebb mértékű nyomáscsökkenés realizálható egységnyi földgáz kitermelése esetén az ilyen tárolók vizsgálata során.

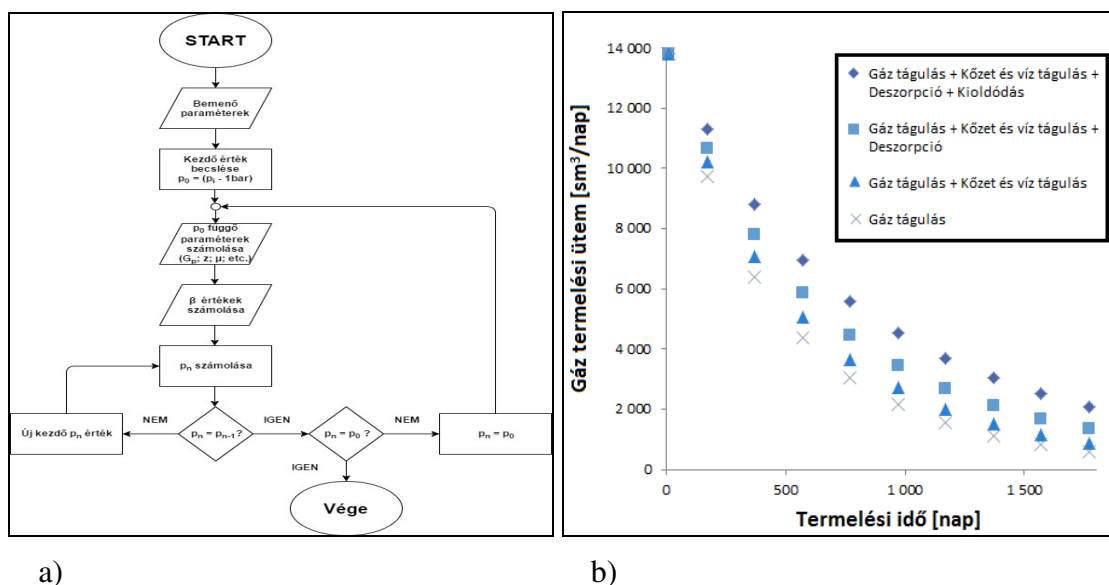
Ezek alapján a kumulált gáztermelés megegyezik a nyomáscsökkenés által bekövetkezett, egyes mechanizmusok hatásának összegével. Ezek a mechanizmusok matematikailag kifejezve egy rendkívül összetett függvényt eredményeznek, mivel a metán oldódása vízben csak komplex korrelációval határozható meg magas nyomású és hőmérsékletű tárolók esetében [2]. Valamint az adszorpció figyelembe vételére az egyrétegű adszorpciót feltételező Langmuir izotermát alkalmaztam. Így a nyomáscsökkenés értékét csak numerikus közelítéssel lehet meghatározni, amelyhez a Newton módszert alkalmaztam. A módszer lényege a következő: kiindulunk egy pontból, amely az igazi gyökhöz elég közel található (jelen esetünkben a kezdő rezervoár nyomástól 1 bar-os nyomáscsökkenést feltételezve). A függvényérték ebben a pontban megközelítőleg az ehhez a ponthoz húzott érintőn található (amelyet meghatározhatunk a függvény deriváltjával), majd kiszámoljuk ennek az érintőnek

az x tengellyel való metszéspontját. Ezt követően a lépést megismétljük a kapott metszéspont értékét tekintve az új kezdőpontnak. Így egy iteratív lépéssorozattal pár számítási ciklust elvégezve megkapjuk a termelés hatására bekövetkezett nyomáscsökkenés értékét (jól konvergáló függvényről lévén szó).

$$f(p) = \frac{\beta_{11}}{p} + \beta_{14} - \beta_{13} * p + \frac{\beta_{13}}{p} - \frac{\beta_4}{p} * \frac{V_L * p}{P_L * p} + \frac{\beta_5}{p} * \left[\beta_6 - e^{\beta_7 - \beta_8 * (p * C_1) + \beta_9 * \ln(p * C_1) + \beta_{10} * \ln(p * C_1)} \right] - \frac{\beta_{15}}{p} \quad (1)$$

$$p_n = p_{n-1} - \frac{f(p)}{f'(p)} \quad (2)$$

Azonban az alapfüggvényben feltételezett konstans β értékek tartalmaznak tagokat, melyek szintén függnek a nyomásváltozástól. Így ennek megoldására egy implicit módszert javasoltam, mely során a kapott, lecsökkent nyomás értékével a konstansokat újra számolva és ismételten elvégezve a Newton módszert a tényleges nyomáscsökkenés értékre, már egy pontosabb megoldást kapunk. Ezt az algoritmust addig kell ismételni, míg a kezdő nyomás érték és a számolt értékek nagy pontossággal megegyeznek. Ez a legtöbb esetben 3-4 számolási lépés után bekövetkezik.

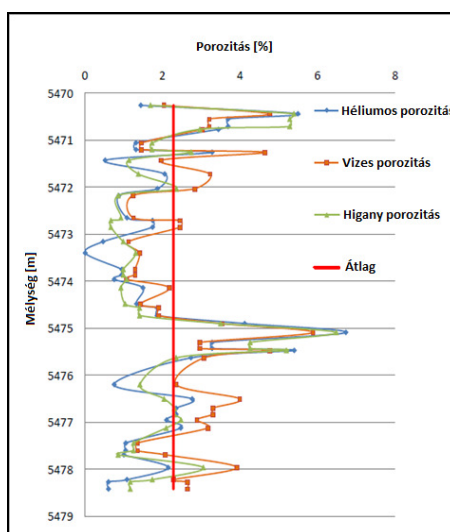


1. ábra. Számolási algoritmus a nyomáscsökkenés meghatározására és termelési ütemek változása különböző mechanizmusok figyelembe vétele mellett

Az alábbiakban bemutatott bővített, zárt gáztárolókra jellemző anyagmérleg egyenlettel és annak implicit megoldásának segítségével vizsgáltam számos gázáramlási modell viselkedését, bemenő paramétereknek pedig az AFKI által mért UHPHT tartományból származó magmintáit választva.

4. MÉRÉSEK

43 magminta érkezett a Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutató Intézetébe, 5470-5478,5 m-es mélységű tömött homokkőves formációból, melyeken számos mérést végeztünk el. Valamennyi magmintán kivitelezve lett porozitás mérés, abszolút permeabilitás (áteresztőképesség) mérés, tapadó víztelítettség mérés, valamint pórusméret-eloszlás mérés. Porozitás mérést három eltérő közeg besajtolásával is elvégeztük, melyek sorra formáció víz (nedvesítő folyadék), hélium gáz és higany (nem nedvesítő folyadék). A különböző fázisokkal kapott kissé eltérő értékeket átlagoltuk majd az egyes magmintákra jellemző értékeknek szintén az átlagát vettük kezdő bemenő paraméternek. Ennek értéke a tömött homokkő tárolókra jellemzően igen alacsony 2,29% lett.



2. ábra. Porozitás mérés eredményei

Permeabilitás mérést formáció vízzel és nitrogén gázzal végeztük el, majd a porozitás mérések kiértékeléséhez hasonlóan határoztuk meg a formációra jellemző abszolút permeabilitás értékeket, mely a vártaknak megfelelően igen alacsony 0,0035 mD lett.

Tapadó víztelítettség mérést formáció víz és higany besajtolásával végeztük el, melynek során igen magas, átlagosan 86%-os értéket kaptunk.

Pórusméret eloszlást higany besajtolásával határoztuk meg, mivel ez a közeg nem nedvesíti a kőzetet. Átlagos pórusugárnak 55,22 nm adódott, mely prognosztizálta a Darcy áramlástól eltérő viselkedést.

5. ÁRAMLÁSI MODELLEK

Az áramlások leírására a szakirodalomban különböző áramlási tartományokat határoztak meg annak függvényében, hogy milyen hatások érvényesülnek [3]. Ezeket a tartományokat egy arányszám segítségével az úgynevezett Knudsen-szám bevezetésével határozták meg. A Knudsen-szám a közepes szabad úthossz és a pórusátmérő aránya. A közepes szabad úthossz a molekulák áramlása során az egymással való ütközések között megtett átlagos távolság. Ennek értéke fordítottan arányos a nyomással és egyenesen arányos a hőmérséklettel, valamint fordítottan és négyzetesen arányos a pórusátmérővel.

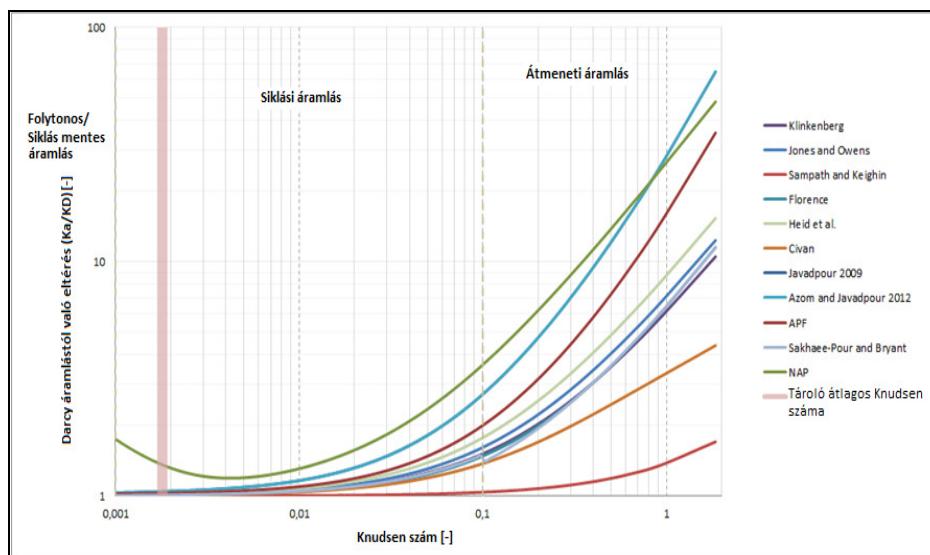
$$\lambda = \frac{K_B \times T}{\sqrt{2} \times d^2 \times \pi \times p} \quad (3)$$

Minél kisebb a Knudsen-szám értéke annál inkább viszkózus az áramlás és a folyamat könnyen leírható a Darcy egyenlet segítségével. Ebben a tartományba (folytonos áramlási tartomány) a kis arányszám következtében a molekulák egymással való ütközése determináns.

10^{-3} feletti Knudsen-szám esetében a siklás jelenségét is figyelembe kell venni [4], amely azért alakul ki, mivel a molekulák pórusfallyal való ütközése többé nem elhanyagolható. Ennek köszönhetően az áramlás sebességprofilja a pórus falok mentén nem zéró, így átlagosan nagyobb az áramlás sebessége. Ezen tartomány vizsgálatára hat, a szakirodalmakban fellelhető modellt alkalmaztam.

0,1 érték felett az úgynevezett tranziens áramlási tartományba lépünk át. Ebben az esetben a molekulák pórusfallyal történő ütközése a meghatározó és egy nyomás vezérelt folyamat irányából, egy koncentráció vezérelt folyamat (úgynevezett Knudsen diffúzió) irányába tolódik az áramlás. Ennek leírása összetett matematikai modelleket követel, melyeket rendszerint a Navier-Stokes összefüggések esetében alkalmazott különböző határfeltételek bevezetésével érnek el. Dolgozatomban öt tranziens áramlási tartományra javasolt modell viselkedését vizsgáltam.

10-től nagyobb Knudsen-szám esetében az áramlási tisztán diffúzió útján megy végbe.



3. ábra. Különböző modellek viselkedése eltérő Knudsen-szám esetén

Jól látszik minden modell az abszolút permeabilitástól eltérő, egyre nagyobb látszólagos permeabilitás értéket jelez előre a Knudsen-szám növekedésével. A modellek, melyek a diffúzió jelenségét is vizsgálják, a siklás jelensége mellett átlagosan magasabb látszólagos átteresztőképességet határoznak meg azonos Knudsen-számok esetében. Az NAP [5] modell viselkedése azért ambivalens a többi modellhez képest, mivel teljes mértékben elhanyagolja a siklási jelenséget. Rózsaszínnel emeltem ki a vizsgált tároló átlagos Knudsen-szám tartományát, amely jól látszik a folytonos és a siklási tartomány határán van. Ez az érték a kis pórusméretek ellenére azért lehetséges, mivel ultra magas nyomás tartomány (közel 1100 bar) jellemzi a formációt.

Úgy tűnhet nincs lényegi eltérés az egyes modellek között a tárolóra jellemző tartományban, azonban több éves nagymértékű gáztermelést feltételezve számottevő eltérések alakulhatnak ki.

6. EREDMÉNYEK

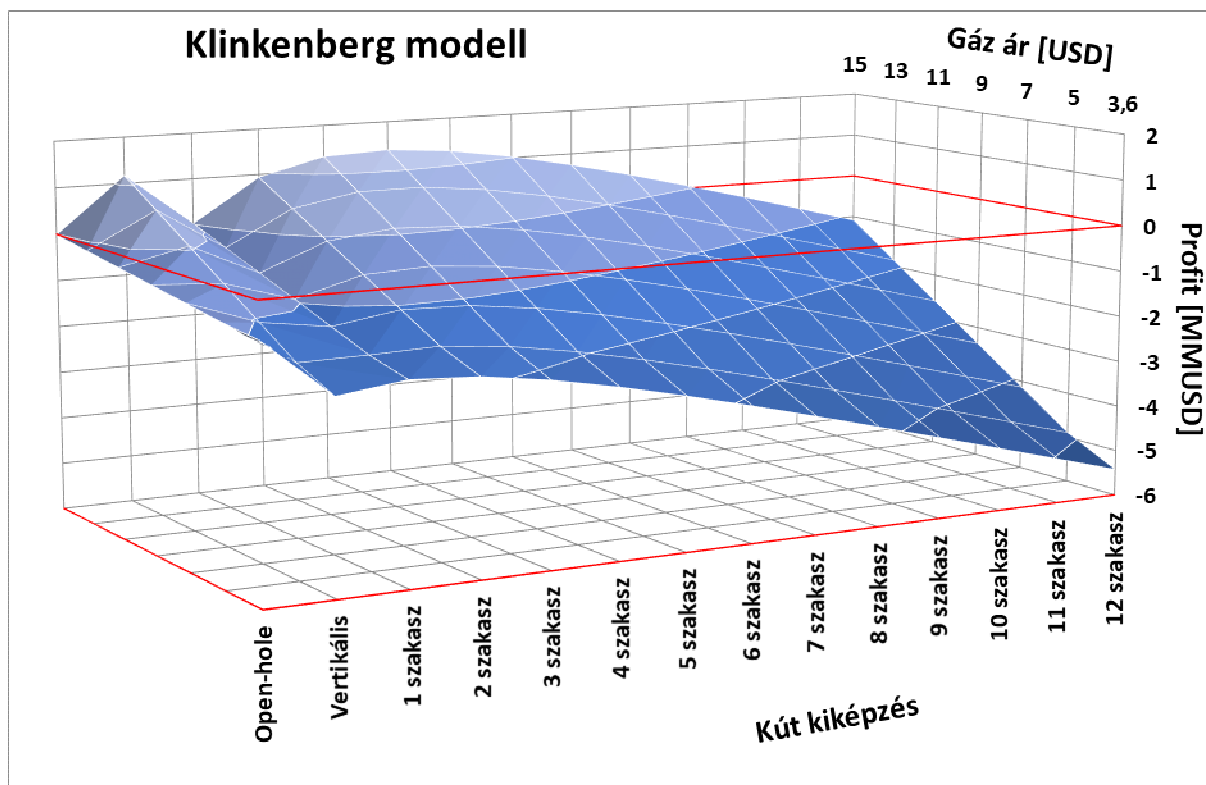
Első esetben nyitott lyuktalpi termelést feltételezve (mely során radiális áramlás alakul ki a kút környezetében) a termelések alakulását és a Darcy modelltől való eltérések arányát az alábbi táblázat tartalmazza. Minden egyes modell esetében le lett futtatva a program 1 napos időléptéket választva alapul, 5 éves termelési periódust feltételezve.

1. Táblázat Nyitott lyuktalpi termelés esetén az eredmények

Modellek	Kezdeti termelés [m ³ /nap]	Eltérés [%]	Kumulált termelés [m ³]
<i>L.J. Klinkenberg, 1941</i>	1 048,9	0,43	1 657 087
<i>F.O. Jones and W.W. Owen, 1979</i>	1 049,8	0,51	1 658 349
<i>K. Sampath and C.W. Keighin, 1981</i>	1 044,8	0,03	1 651 003
<i>J.G. Heid et al, 1950</i>	1 051,2	0,65	1 658 349
<i>F. A. Florence et al, 2009</i>	1 048,1	0,35	1 655 882
<i>F. Civan, 2010</i>	1 048,0	0,34	1 655 657
<i>F. Javadpour, 2009</i>	1 063,8	1,86	1 677 526
<i>P. Azom and F. Javadpour, 2012</i>	1 063,8	1,85	1 677 500
<i>H. Darabi et al., 2012 (APF)</i>	1 062,8	1,76	1 676 472
<i>A. Sakhaee-Pour and S.L. Bryant, 2012</i>	1 048,8	0,42	1 656 902
<i>H. Singh et al., 2014 (NAP)</i>	1 994,6	90,97	2 714 736

Jól látszik nincsen jelentős eltérés a Darcy modell viselkedésétől a siklási modellek esetén, ugyanis a folytonos áramlás határán történik az áramlás, így a siklás jelensége csak rendkívül kis mértékben befolyásolja a kapott értékeket. Azon modellek, melyek a diffúzió jelenségét is magukba foglalják a vártaknak megfelelően kissé nagyobb hozamokat jeleznek előre. Az NAP modell lényegesen nagyobb hozamokat jelez előre, azonban ennek a modellnek a viselkedése az előzőekben részletezettek alapján megkérdőjelezhető.

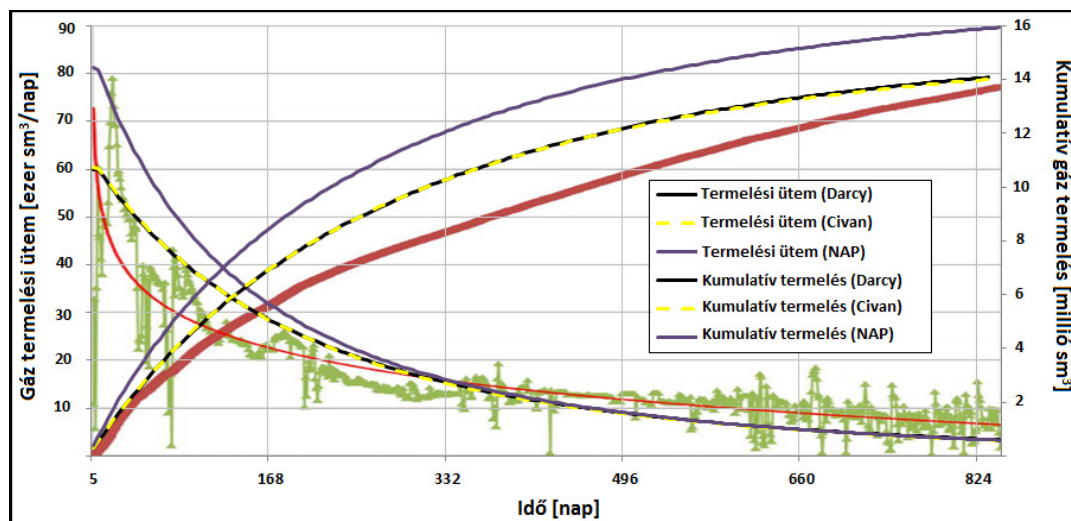
A kezdeti hozamok és az 5 éves termelési ciklusra kumulált hozamok minden modell esetén rendkívül alacsony értékeket prognosztizálnak. Ez okból kifolyólag a programot lefutattam vertikális és többszörösen repesztett horizontális, transzverzális kútkiképzés esetére is. Hidraulikus rétegrepesztés segítségével egy lényegesen nagyobb beáramlási felület érhető el, melyen keresztül már egy közel lineáris áramlás alakul ki, így lényegesen nagyobb hozamok érhetőek el az adott tárolókból. Ezen eredményeket azonban csak a Klinkenberg modell esetén prezentáljuk, mely modell esetén a siklási faktor értéke nem korreláció segítségével számolt, hanem egy mért érték, így pontosabban determinált a siklás jelensége.



4. ábra: Különböző kútkiképzések gazdasági vizsgálata az algoritmussal

Megfigyelhető, hogy a földgáz jelenlegi világpiaci ára (5 USD) mellett semmilyen kútkiképzés esetében sem gazdaságos a kút termeltetése. Azonban a gázár alakulása nem csak a profit változását eredményezi, hanem meghatározza az optimális kútkiképzés módszerét is. 3,6 USD gázár mellett a legkevésbé veszteséges eljárás a nyitott lyuktalpi kútkiképzés esetén lehetséges, mivel a hidraulikus rétegrepesztéssel elért többlettermelés nem fedezi az eljáráshoz szükséges többlet kiadásokat. Azonban 9 USD gázár mellett a kút termeltetése már gazdaságos, illetve vertikálisan kivitelezett hidraulikus rétegrepesztés az optimális. Míg 15 USD gázár mellett a 4 szakaszban kialakított vízszintes rétegrepesztés eredményezi a legnagyobb profitot.

Mivel a kút hosszú távú termeltetése nem történt meg gazdasági okokból, így a modell pontos viselkedését ezen tároló esetére nem tudtuk megvizsgálni. A modell alkalmazhatóságát egy másik magyarországi hidraulikusan rétegrepesztett gáztároló esetén vizsgáltam. Ez a formáció nagyobb pórusterekkel és kisebb formációnomással rendelkezik, mint az előbbieken vizsgált. A tárolóra jellemző Knudsen-szám folytonos áramlási tartományt feltételez. Valós termelési adatokhoz képest hasonlítottam össze az algoritmus működését különböző áramlási modelleket feltételezve. Jól látszik a Darcy modell és a siklási tartományra ajánlott Civan modell viselkedése között nincs eltérés és nagy pontossággal jelzi előre a termelési értékeket, míg az NAP modell felülbecsli a gáztermelést.



5. ábra. Modell alkalmazhatóságának vizsgálata

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányomban a már meglévő anyagmérleg egyenleteket bővítettem ki, ennek segítségével a micro- és nanoméretű pórusterekben történő gázáramlások vizsgálhatóak. A bővített anyagmérleg egyenlet megoldására egy több lépcsős számolási algoritmust dolgoztam ki, melynek segítségével összehasonlíthatóak a különböző áramlási tartományokra jellemző áramlási modellek.

Számos mérést végeztünk egy magyarországi ultra magas nyomású és hőmérsékletű tömött homokkő formációból származó magmintákon a modell bemenő paramétereinek meghatározására. A programot valamennyi modell esetében lefutattam és elemeztem a kapott eredményeket. Az olajiparban leggyakrabban alkalmazott rétegserkentő eljárás, vagyis a hidraulikus rétegrepesztés programba való integrálásával kiterjesztettem annak alkalmazhatóságát. Gazdaságilag megvizsgáltam az egyes kútkiképzések esetét és összegeztem eredményeimet.

Végezetül az algoritmus alkalmazhatóságát vizsgáltam meg egy magyarországi hidraulikusan rétegrepesztett tároló esetében, mellyel bebizonyítottam annak megfelelő működését és gyakorlati alkalmazhatóságát.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HAGHSHENAS, B.; CLARKSON C.R.; CHEN, S.,** *New Models for Reserve Estimation and Non-Darcy Gas Flow in Shale Gas Reservoirs*, SPE 167789, 2014, University Calgary Bulletin, 93, 329-40, 2014
- [2] **BLOUNT, C.W. and PRICE, L.C.,** *Solubility of Methane in Water under Natural Conditions a Laboratory Study*, Department of Geology, Idaho State University, Pocatello, Idaho 83209, <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5281520/>, 1982
- [3] **REZAAEE, R.,** *Fundamental of gas shale reservoirs*, Wiley, New Jersey, 2015
- [4] **KLINKENBERG, L.J.,** *The permeability of porous media to liquids and gases*. 1941
- [5] **SINGH, H.; JAVADPOUR, F.; ETTEHADTAVAKKOL, A.; DARABI, H.** *Nonempirical apparent permeability of shale*, SPE-170243-PA, SPE Journal Paper Reservoir EvalEng; 17(03):414–24., 2014

SZÁLERŐSÍTÉSŰ MŰANYAGOK FRÖCCSÖNTHETŐSÉGI VIZSGÁLATAI

INVESTIGATIONS OF INJECTION MOLDING FIBER-REINFORCED PLASTICS

RÁTHY Istvánné¹, PINKE Péter²

¹egyetemi docens, rathy.istvanne@bgk.uni-obuda.hu

¹Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, Óbudai Egyetem

²egyetemi docens, pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu

²Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, Óbudai Egyetem

Kivonat: A cikk bemutatja a fröccsöntési technológiát, előnyeit, hátrányait, a fröccsönthető műanyagokat, a különböző szálerősítésű műanyag kompozitok fröccsönthetőségi lehetőségeit, és a sokrétű vizsgálatait.

Kulcsszavak: fröccsöntés, szálerősítésű kompozitok, műanyagok vizsgálatai,

Abstract: The article presents the injection molding technology, advantages, disadvantages, injection molding plastics, injection molding capabilities of various fiber reinforced plastic composites and its multifaceted examinations.

Keywords: injection molding, fiber-reinforced plastics, investigation of plastics

BEVEZETÉS

A cikk első része áttekinti a fröccsöntés technológiáját, a technológiával feldolgozható műanyagokat, ezen belül részletesebben taglalja a szálerősítésű műanyagokat. Ez a rendszerezés kiindulási alapként szolgál a második részben bemutatásra kerülő műanyag-kompozit vizsgálatokhoz. Az ipari gyakorlatban sokféle műanyagot gyártanak, amelyeket különböző erősítő szálakkal merevítenek. A szálerősítéses műanyag-kompozitok gyártástechnológiája és vizsgálatának szakirodalma igen terjedelmes. Ezekből a napjainkban leggyakrabban alkalmazott vizsgálati eljárásokból és technikákból mutatunk be néhány jellemzőt.

1. A FRÖCCSÖNTÉSI TECHNOLÓGIA

A fröccsöntés az a feldolgozási folyamat, amelyben a fröccsöntőgép ömlesztőhengerében a hő hatására képlékennyé vált anyagot nagy nyomással, a késztermék alakjának megfelelő üregű szerszámba nyomják, a feldolgozott anyag ott lehül, megszilárdul, majd a szerszám nyitása után a kívánt formájú darab a szerszámból kidobódik. [1]

Az extrúzióval ellentétben, ami folytonos és állandó keresztmetszetű termékeket állít elő, a fröccsöntéssel diszkrét, nagy alak komplexitású termékek állíthatók elő. A hőre lágyuló műanyagok e feldolgozási módja a fémek fröccsöntéséből fejlődött ki. Kezdetben dugattyús, később csigás előplasztikálóval ellátott gépeket gyártottak, majd ezekből alakultak ki a korszerű csigadugattyús fröccsgépek, amelyeknél a csigadugattyú forgása közben az anyagot adagolja és képlékenyíti, majd dugattyúként működve az ömledéket a szerszámba fröccsönti.

A fröccsöntés előnye:

- képlékeny alakítással, nagy méretpontosság párosul,
- széles termékskála állítható elő,
- a leggyakrabban alkalmazott műanyag formázási eljárás,

- nagyrészt minden hőre keményedő és hőre lágyuló műanyag feldolgozható ezzel a technológiával,
- termék-reprodukálhatóság, ami nagyban hozzájárult a technológia elterjedéséhez,
- nagymértékben automatizálható, az előállított termékek nem igényelnek további nagymértékű feldolgozást.

A technológia hátránya:

- a feldolgozó egység nagy beruházási költsége,
- a gyártás során keletkező nagy mennyiségű hulladék, amit költséghatékonyság szempontjából újra feldolgoznak, viszont ez újabb költségeket generál,
- a nagy gyártási volumen miatt minőségi visszacsatolás szükséges az automatizált rendszerben.

A fröccsöntés szükséges feltételei:

- megfelelő gép a polimer megömlesztéséhez és a szerszámba injektálásához,
- megfelelő műanyag a termékek előállításához,
- megfelelő felépítésű szerszám a termék alakjának megadásához és könnyű eltávolíthatóságához,
- megfelelő ütemezés a hatékony gyártási ciklushoz.

A termelési költségeket meghatározó fő tényezők: a feldolgozandó anyag típusa, a szerszám beruházási költsége, az egy gyártási ciklus alatt előállítható darabszám. Az anyag típusa általában meghatározza a termék alakját. A termék alakjának megtervezése után a következő feladat a szerszám kialakítása. A szerszám költsége az elsődleges tényező ebben a technológiában, nagyobb részt tesz ki, mint bármely más alakadó technológia esetén. Az extrúziós szerszámok az extrudert gyártó cégnél készülnek a fröccsöntés szerszámaival ezzel szemben az erre specializálódott cégek készítik. Egyéb költségmeghatározó tényező az egy ciklus alatt előállítható gyártmány száma, ezt a szerszámban lévő üregek száma határozza meg. A gyártási ciklus hossza egy másik fontos költség tényező. A gyártási ciklus költségét mind a szerszám mind pedig az anyagi tényezők meghatározzák, ezen felül egyéb tényezők is befolyásolják a gyártási költséget, mint az üzemeltetési költségek, amortizáció, beruházási és működtetési költségek.

1.1. A fröccsöntőgép felépítése

A fröccsöntés esetén használt berendezés három fő részre osztható:

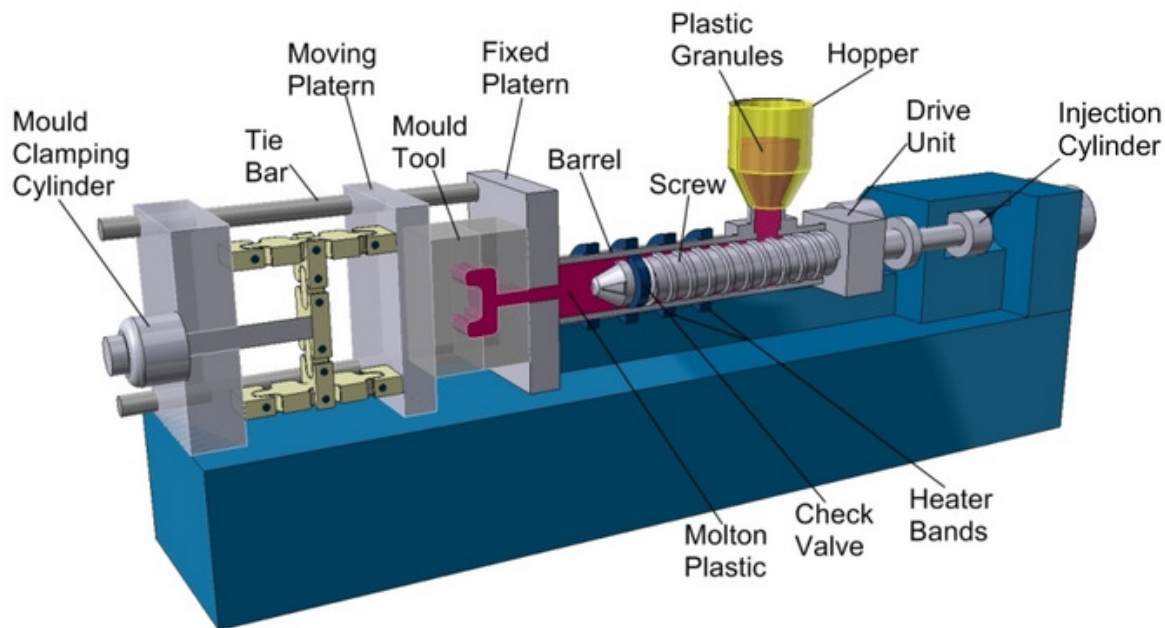
- Plasztikáló-fröccsöntő egység
- Szerszám
- Záró egység

A fröccsöntő berendezés egységeit a gépállvány és hidraulikus rendszer foglalja magában, mely ezen kívül azt is biztosítja, hogy azok rezgésmentes kapcsolódása megvalósuljon.

A berendezésbe adagolt műanyag olvasztását a plasztikáló- és fröccsegység biztosítja, melynek az alapanyag tökéletes megömlesztésén túl az ömledék szerszámüregbe juttatása is a feladata.

A műanyagok befröccsöntése során a szerszám a szerszámm záró egységben található. A szerszámm záró egység hivatott a szerszám rögzítésére, nyitására- zárására. A szerszámm záró egység működését tekintve lehet mechanikus és hidraulikus. A fröccsöntőgép részegységeit az 1. ábra mutatja [2].

Az egyes részek közötti kapcsolatot a vezérlőegység biztosítja, mely a kapcsolatot teremt a kezelő és a berendezés között. A legtöbb fröccsöntő berendezés előre megírt programok alapján automatikusan üzemel.



1.ábra: A fröccsöntő gép részei [2]

1.2. Fröccsönthető műanyagok csoportosítása

A feldolgozási technológiájuk alapján a műanyagok alapvetően három fő csoportra oszthatók: hőre keményedő (*thermoset*), hőre lágyuló (*thermoplastics*), illetve rugalmas műanyagokra.

A hőre lágyuló műanyagok felhasználásuk szerint két nagy csoportba sorolhatók, vannak az úgynevezett közszükségleti vagy *commodity* műanyagok, mint a polipropilén (PP) vagy a polietilén (PE), polisztirol (PS), poli(vinil-klorid) (PVC), melyeket általában nagy mennyiségben vásárolnak, és az úgynevezett műszaki vagy *engineering* műanyagok, melyeknek nagyobb műszaki elvárásoknak kell megfelelniük és általában jóval drágábbak. Ilyen például a poliamid (PA), az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), a polikarbonát (PC), poli(etilén-tereftalát) (PET), a poliéter-éter keton (PEEK) poli(metil-metakrilát) (PMMA). A közszükségleti műanyagokat gyakran felhasználják műszaki műanyagok előállításához is, keveréssel (*compounding*) vagy vegyítéssel (*alloying*). [3]

A legtöbb hőre keményedő műanyag (műgyanta) a kiindulási monomerek funkció csoportjainak számától függően lehet enyhén vagy erősen térhálós. A hőre keményedő duroplasztok (például a bakelit) erősen térhálós szerkezetűek.

A poliaddíciós folyamat során a makromolekulák kémiaiilag különböző molekulákból (két- vagy többfunkciós alapvegyület) jönnek létre, katalizátor nélkül, alacsony hőmérsékleten, melléktermék keletkezése nélkül. Ilyen eljárással jönnek létre a poliuretánok, az epoxigyanták és a polikarbamidok.

A természetes alapú műanyagok közé tartoznak a cellulóزالapú műanyagok, mint a vulkánfíber, melyet úgy állítanak elő, hogy papírt 70%-os cink-klorid oldattal kezelnek. Az eredmény egy kemény, szívós műanyag, melyet korábban például bőröndök előállítására használtak. Ide tartozik a viszkóz, (melyből például műselymet állítanak elő), vagy a celluloid. Természetes alapúak a fehérjeszármazékokból készült műanyagok is, a műszaru lehet például kazeinalapú vagy vérfehérje alapú. Ide tartoznak még a kaucsukszármazékok is, mint például az ebonit vagy keménygumi. Természetes alapú műanyag még a linóleum, a bitumen, a különféle kátrányok és a növényi eredetű sellak. Legfontosabb típusaik: telítetlen poliészterek, fenol-formaldehid (PF), vinilészterek, epoxigyanták, poliuretánok (PUR), polikarbamidok (PU), szilikongyanták, fenoplasztok, aminoplasztok, melamin-formaldehid gyanták.

A legelterjedtebb feldolgozási mód a fröccsöntés, a világon körülbelül 130 000 ilyen vállalkozás működik [4]. A műanyagok felhasználása szerint a legnagyobb piaca a csomagolóanyagoknak van, ez az iparág csaknem a feldolgozott műanyagok felét hasznosítja. A második legnagyobb felhasználó az építőipar 20%-kal, az elektronikai ipar csupán 6%-os, az autóipar pedig 3%-os részesedést mutat.

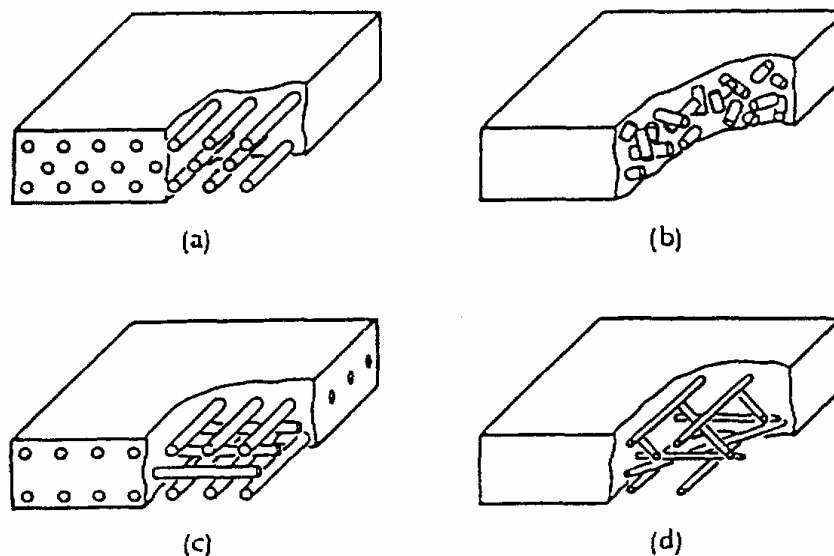
1.3. A műanyagok tulajdonságainak javítása szálerősítéssel

A szálerősítésű műanyagok kompozitok, amelyeket a legalább két különböző, önmagában monolitnak (egyneműnek) tekinthető anyag társításával, előnyös tulajdonságaik kombinálása céljából hoznak létre. A mátrix lehet hőre keményedő, vagy hőre lágyuló polimer egyaránt. Az erősítőszálak közül az üveg- és a szénszálat használják leginkább. A leggyakrabban használt kombinációk: üvegszál – polimer, szénszál – polimer, KEVLAR- epoxi gyanta és a KEVLAR - poliészter. A szálak kompozitok jelentősen javítják a mátrix mechanikai tulajdonságait, pl. szilárdságát, szilárdság/tömeg arányát, tribológiai jellemzőit, esetenként

szívósságát oly módon, hogy a mátrixba nagy szilárdságú, merev szálakat építenek be. A szilárdság jelentős növelése csak abban az esetben várható, ha erős kötés alakul ki a szálak és a mátrix között. Ilyenkor a terhelés nagy részét átveszik a szálak. A szálak elrendezésének, geometriájának és mennyiségének alkalmas megválasztásával lehetőség nyílik a tulajdonságok kívánt tervezésére, kialakítására. A szálak elrendeződése többféle lehet:

- a) folytonos, egyirányú szálak,
- b) véletlen orientációjú rövid szálak,
- c) egymásra merőleges szálak,
- d) filc elrendezés (2. ábra):

Ily módon lehetségessé válik pl. a szilárdság adott irányokban történő növelése. A szál geometriájának szerepét illetően megmutatható, hogy rövid szálaknál a szilárdság növelése szempontjából kedvező, ha a szál hosszúságának és átmérőjének hányadosa minél nagyobb. A geometriai tényező jellemzésére megadjuk a szál "karcsúságát" (aspect ratio). Értéke jellegzetesen: 30 és 1000 között van. A szálak térfogat-arányának növelése ugyancsak kedvező a szálerősítés szempontjából.



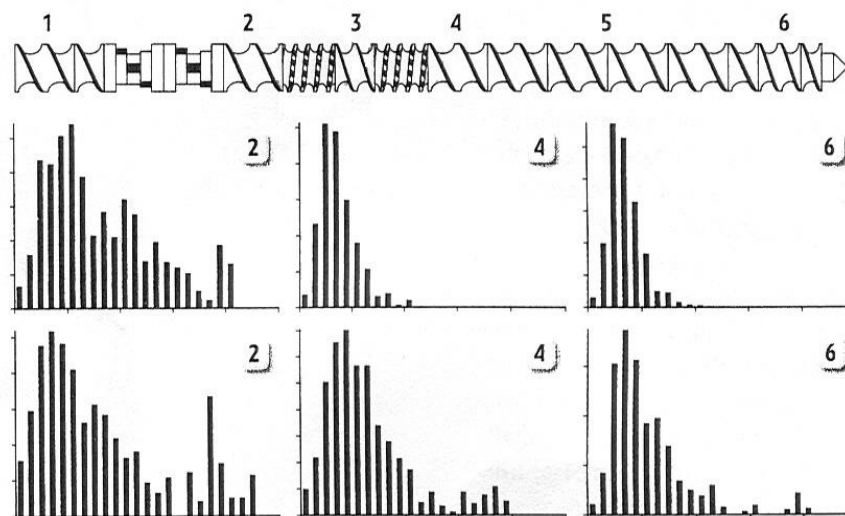
2. ábra: A szálak elrendezése a) folytonos, egyirányú szálak, b) véletlen orientációjú rövid szálak, c) egymásra merőleges szálak, d) filc elrendezés [5]

2. FEJLESZTÉSI IRÁNYOK ÉS VIZSGÁLATOK

2.1. A technológia fejlesztése

a; A mai fröccsgépek az alapvető funkciójuk, azaz a műanyagok formázása mellett beépített érzékelők segítségével minden egyes ciklusban mérni tudják a folyamat paramétereit, a hőmérsékletet, a nyomást és számos más jellemzőt. Ha ezek a megengedett tűrési tartományon kívül vannak, korrigálják őket, mielőtt az éppen készülő termék selejtté válna. Az adatokat tárolják, ezek később is bármikor visszakereshetők. Az ilyen fröccsgépek ezért akár mérőberendezésnek is tekinthetők. Ezt a lehetőséget kihasználva egy kutatócsoport azt elemezte, hogy valójában mekkora is a fröccsöntés reprodukálhatósága, egy másik kutatócsoport pedig már elsősorban mérőeszköznek használva a fröccsgépet, hőre keményedő anyagok minőségét vizsgálta vele [6]. A kísérleteket számítógépes szimulációk előzték meg, melyek az optimális tervezést segítették.

b; A Délnémet Műanyagipari Központ és a paderborni egyetem műanyagtechnikai tanszékének kutatási projektjében a „kíméletes” kompaundálást vizsgálták. A kísérleteket a kompaundálásnál leggyakrabban használt egyirányban forgó kétcsigás extruderen végezték, amelynél a csiga a szállítóelemeken kívül egy gyűrőblokkot és keverőelemeket is tartalmazott (3. ábra). Az üvegszállal erősített kompaundok, illetve a belőlük előállítható termékek minőségét nagymértékben meghatározta az üvegszál hosszeloszlása a kompaundálás után. A kompaundálás során a cél az üvegszál törésének, rövidülésének minimalizálása volt.[6]



3. ábra Az üvegszál átlagos hosszúságának eloszlása a csiga különböző helyein.

A felső sor 20%, az alsó 80% forgatónyomaték-terhelésnél mutatja az eloszlást [6]

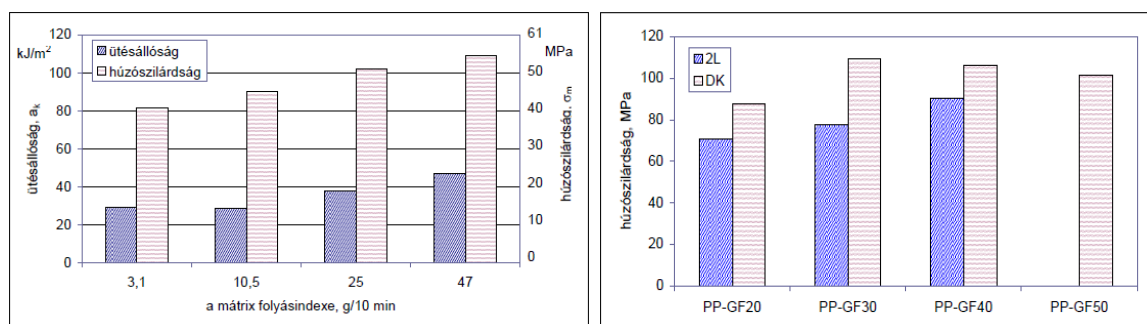
c; A kísérletsorozatban egy adott összetétel mellett a forgatónyomatékot és a csiga fordulatszámát változtatták. Az értékeléshez az extruder leállítása után a csiga különböző helyeiről vették a mintákat, amelyeknek a szálhosszúság-eloszlását vizsgálták. A 3. ábrán bemutatott eloszlási görbék szerint a nagyobb forgatónyomaték nagyobb átlagos szálhosszt eredményezett. Ez arra vezethető vissza, hogy a nagyobb forgatónyomatéknál nagyobb a teljesítmény (mennyiség/időegység), ami rövidebb tartózkodási időt jelent. A fordulatszám növelése viszont nagyobb mértékű száltöréshez, és ezzel a közepes szálhosszcsökkenéshez vezet. A csiga fordulatszáma és a nyomás növelésével csökken a közepes szálhossz a kompaundálás során. Látható az is, hogy a kisebb viszkozitású mátrix esetén nagyobb szálhosszt mérnek. Amennyiben az átfolyó mennyiség növelésével csökkentik a tartózkodási időt, a szálak törése visszaszorul. A henger hőmérsékletének emelése a kísérletben használt kis átmérőjű extrudereknél közvetlenül emeli az anyag hőmérsékletét, és ezáltal csökkenti a viszkozitást, vagyis csökken a száltörés.

d; A fejlesztések másik iránya a technológiai lépések összevonása a termékek minőségének javítása, költségcsökkentés vagy más előnyök elérése céljából. Az alábbiakban a fröccsöntést és a kompaundálást valósították meg egy technológiai fázisban a német kutatók [7].

A kísérleteket üveg-szálás hőre lágyuló műanyagokkal, főleg PP-vel és PA 6/66-tal végezték. Az osztrák Engel cég *e-motion 200/100* típusú teljesen elektromosan hajtott, oszlop nélküli záróegységű fröccsöntő gépén dolgozták fel, amelyre az ömledék homogenizálása érdekében sztatikus keverőt szereltek (*SMK-X12/6* a Sulzer cégtől). A tulajdonságokat a *DIN ISO 527* szabvány szerinti univerzális próbatesteken mérték. A fröccsöntő gépbe az anyagokat négy differenciál mérleggel (*DDW-MD2-DDSR20/28-5* a Brabender cég-től) adagolták. A viszonylag gyenge hosszirányú keveredés fokozása érdekében a kiindulási anyagokból egy előkeverő egységben homogén keveréket állítottak elő az ömledékképzés előtt.

Az egylépéses integrált technológiával előállított terméket összehasonlították egy azonos receptúrával külön lépésben előállított kompaundból fröccsöntött termékkel. Az összehasonlítást először különböző mennyiségű üvegszálat és különböző adalékokat tartalmazó polipropilénnel végezték. A PP-hez kétféle adalékot kevertek. A fröccsöntéssel

összekapcsolt direkt kompaundálás során az egyik segédanyag az üvegszálkötegek felbomlását, a szálak diszpergálását segítette. A másik segédanyaggal a szálaknak a mátrix anyagához, a PP-hez való kapcsolódását javították. Ez a tapadást erősítő adalék a poláros csoportot tartalmazó monomerrel ojtott polipropilén. A két adalékanyag 3–3%-ával a direkt kompaundálásnál is elérhetővé vált az üvegszálak megfelelő eloszlása és beágyazása a mátrixba. Az előkísérletek során azt is megállapították, hogy a kisebb viszkozitású, nagyobb folyóképeségű mátrix alkalmazásával javul a szálak diszpergálása, és ezzel együtt a mechanikai tulajdonságok is jobbak lesznek, amint ez az 4. ábra bal oldali diagramjából is egyértelműen kitűnik. A kisebb viszkozitású polimer ugyanis jobban nedvesíti az erősítőszálat, ami megkönnyíti az erőátvitelt. Ezért a továbbiakban a 47 g/10 min folyásindexű (MFI) PP-t használták mátrixként.



4. ábra: Bal oldalon a különböző folyásindexű PP mátrixanyagok mechanikai tulajdonságai, jobb oldalon a két lépcsős (2L) és direkt fröccskompaundálással (DK) előállított üvegszállal (GF) erősített PP kompaundok húzószilárdsága [7]

Az integrált eljárással kapott termék jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a külön folyamatban kompaundált alapanyagból fröccsöntött termékek, ahogy ez a 20, 30, 40, 50% üvegszállal készült minták eredményeiből láthatók (4. ábra jobb oldalon). 50%-nál hiányzik az összehasonlító minta, mivel a kísérletben használt 25 mm-es kétcsigás kompaundáló extruderen ilyen nagy mennyiségű üvegszálat nem tudtak bekeverni.

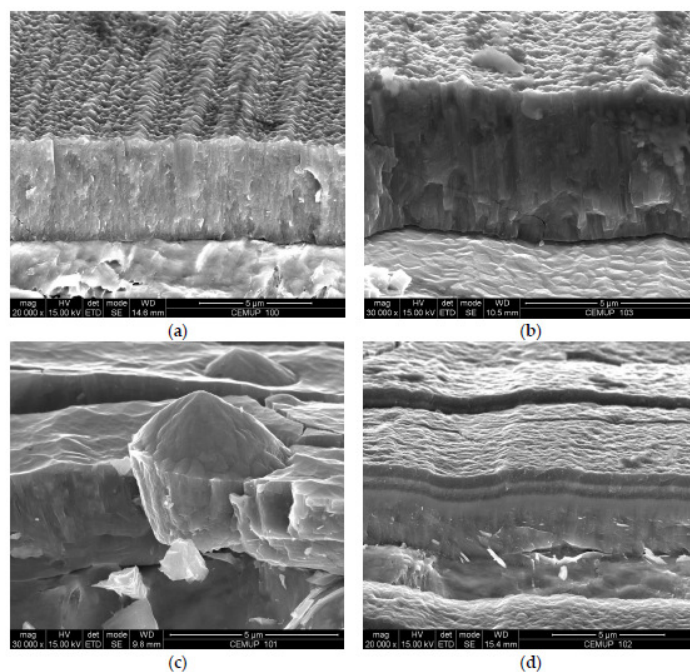
e; Ma már szinte minden nagyobb vállalatnál alkalmazzák a termográfiát a fröccsöntő gépek megelőző karbantartása során. De a termográfiával nemcsak a hőmérsékletváltozással detektálható meghibásodások ismerhetők fel, hanem a megfelelő kamera (a hozzátartozó know-how-val együtt) fontos eszköz lehet a minőségbiztosításban és a termékfejlesztésben is. A képalkotáson alapuló vizsgálat nemcsak a minőségbiztosításban kap helyet, hanem jól használható a fröccsöntés technológiai optimalizálására is, hiszen a fröccsöntött termékek minőségében alapvető tényező a hőfokeloszlás egyenletessége a folyamat teljes időtartamában. Az infravörös kamera költséghatékony eszköz a termodinamikai folyamatok megfigyelésére. A módszer legfontosabb hozadéka, hogy a hibákat már a folyamat befejezése előtt észleli, amikor még nem késő. A termográfia lehetővé teszi a problémák vizualizálását, ami főleg a bonyolultabb geometriájú alkatrészek esetén vihet közelebb a megoldáshoz. A prototípusok előállításánál különösen előnyös, hogy segítségével a termékek kialakítása, formája optimalizálható, és ezáltal a későbbi költségek csökkenthetők.[8]

f; A szerszám belsejében végzett nyomásmérés technikája átláthatóvá és ellenőrizhetővé teszi a fröccsöntési folyamatot, nullára csökkenti a hibákat és a reklamációkat.

Egy osztrák cég [8] ezzel a módszerrel valósított meg ún. „nulla hiba” programot napelemek kivezető kábeleinél használt termoplasztikus elastomer (TPE) tömítőgyűrűnél. Egy 0,39 gramm tömegű Santoprene alkatrészről van szó, amelyből a cég 30 millió darabot gyárt évente. A minőségbiztosítási program egyik fontos eleme volt, hogy a 32-fészekes szerszámban mérjék a belső nyomást. A 32 fészkek négy külön egységben helyezkedett el. A nyomásérzékelőket a négy egység két-két fészkeben helyezték el, vagyis a 32 fészkek negyedét ellenőrizték. Azért nem többet, mert a nyomásmérés a nyolc mérőhelyen kb. olyan költséget jelentett volna, mint magának a szerszámnak az elkészítése.

A TPE anyagspecifikus viszkozitása és rugalmassága folytán a szerszámkitöltési folyamat meglehetősen kritikus. A befröccsentésnél az energia hatására a TPE könnyen összenyomhatóvá válik. A nyomásmérés lehetővé teszi, hogy a fészkek töltése teljes mértékben reprodukálhatóan és ellenőrizhetően menjen végbe. A nyomásszenzorokkal jól lehet követni a töltésből az utónyomás fázisába való átmenetet, mivel a szenzorok a kiértékelő és a szabályzóegységeken keresztül a fröccsgéphez vannak kapcsolva. A töltés optimalizálásán keresztül a belső nyomás mérésével nagyon gyorsan el lehet jutni a szerszámkitöltés lefolyásának optimalizálásához, ahhoz az ún. master folyamathoz, amely biztosíthatja a termékek reprodukálható előállítását, és amelyet problémamentesen és gyorsan lehet adaptálni más fröccsgépekre is.

g; A technológiai fejlesztések kiterjednek a fröccs-szerszám formaadó felületének kopásállósági javíthatóságára. Közismert, hogy az üvegszállal erősített műanyagok fröccsöntésekor az üvegszálak abrazívan nagy mértékben koptatják a formaüreget, illetve a beömlőcsatornát. A szerszám kopásállóságának növelésére fizikai gőzöléssel (vákuumplazma) felvitt bevonatokat is alkalmaznak.



5. ábra: A különböző bevonatok morfológiája elektron mikroszkópos felvételen: (a) TiAlN; (b) TiAlSiN; (c) CrN/TiAlCrSiN and (d) CrN/CrCN/DLC [9]

Portugál kutatók és mérnökök [9] négy különböző vékony, kemény bevonattal kísérleteztek. A TiAlN és a TiAlSiN egyrétegű bevonat, a CrN/TiAlCrSiN és CrN/CrCN/DLC többrétegű nanostruktúrált rendszer. A bevonatok elektronmikroszkópos felvétele az 5. ábrán látható. Az első két bevonatot laboratóriumi körülmények között

koptatták, míg a második kettőt ipari környezetben. A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy a bevonat morfológiája megfelelő, a felületi érdességek (R_a) 0,033 és 0,061 μm tartományba estek. A bevonatok formaüreghez való tapadásának mértéke biztosította a kopásállóságot. A leginkább kopásálló bevonat az egyrétegűek közül a TiAlN volt. Az ipari vizsgálatok esetén a CrN/TiAlCrSiN bevonat 65,5-szer hosszabb élettartamú volt, mint a bevonat nélküli szerszám.

2.2. A műanyag kompozitok fejlődési irányai

A növekvő környezeti tudatosság és a fosszilis nyersanyagok áremelkedése miatt a fejlesztők új, lehetőség szerint megújuló forrásból származó anyagokat keresnek. Az utóbbi évtizedben került a kutatások fókuszába a természetes szállal erősített kompozitok ipari alkalmazása. A természetes szálak alkalmazása a környezet szempontjából lényegesen előnyösebb az eddig legnagyobb mértékben használt üvegszálnál. A természetes szálak mechanikai tulajdonságai összevethetők az üvegszáléval, de annál olcsóbbak, kisebb sűrűségűek. Ez utóbbinak szintén van környezetvédelmi hatása, mivel a szállításukhoz kevesebb energia szükséges. Mindazonáltal vannak hátrányos tulajdonságaik: a természetes szálak minősége kevésbé stabil és kisebb a hőállóságuk is, mint a mesterségeseké.

a; A jelenlegi kutatások, fejlesztések a természetes szállal erősített műanyagok minőségének javítására, a mátrix megválasztására, a mátrix és a szál közötti tapadás fokozására és a feldolgozási technológiák optimalizálására irányulnak. [10]. A természetes szálakkal történő erősítés esetén mátrixként főleg a poliolefinok és a PVC szerepel, mivel ezek olvadáspontja viszonylag alacsony. Így a feldolgozás során kiküszöbölhető a hőérzékeny természetes szálak – a kender, juta, kenaf, szizal, kókuszrost és a farost – károsodása. A kész kompozitok optimalizálására adhéziót fokozó anyagokat és UV-stabilizátorokat, esetenként ütésálló modifikátorokat, valamint színezék-mesterkeveréket is adagolnak.

b; A természetes szállal erősített kompozitok másik fontos fejlesztési iránya, hogy a mátrix anyagának optimális megválasztásával javítsák a mechanikai tulajdonságokat. Az eddig leginkább használt poliolefin mátrix esetében a fő probléma a rossz összeférhetőség a teljesen apoláros polimer és a poláros szálak között. Bár ezt különböző adalékokkal, módosításokkal igyekeznek javítani, kézenfekvőnek látszik vizsgálni a kevésbé hidrofób poliamid alkalmazását mátrixként. A hajlító- és húzóvizsgálatok eredményei szerint a természetes szálak erősítő hatást fejtenek ki a poliamid 6 és 66 alapú kompaundokban. A szálakat tartalmazó kompaundok szilárdsága és modulusa 10–300%-kal haladják meg a mátrix polimer értékeit. Az erősítő hatás, vagyis a tulajdonságok javulása az erősítetlen mátrixhoz képest a poliamid üvegesedési hőmérséklete felett, 80 °C-on általában nagyobb, mint szobahőmérsékleten, ami azért is fontos, mert erősítés nélkül a poliamid mechanikai tulajdonságai az üvegesedési hőmérséklet felett az eredeti értékek negyedére csökkennek.

c; Jelentős kutatásokat végeztek a műanyag alapú kompozitok fejlesztése területén a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszékén is [11]. A bazaltszálat, mint a fröccsöntött hőre lágyuló műanyagok erősítőanyagát, már sokrétű vizsgálatoknak vetették alá, de elsősorban polipropilén mátrixba ágyazva. A poliamidot eddig ritkán próbálták mátrixként alkalmazni, annak ellenére, hogy jobb eredmények várhatók tőle. A poliamid önmagában jobb mechanikai és hőállósági tulajdonságokkal rendelkezik, mint a polipropilén. Ugyanilyen fontos szempont az is, hogy a poliamid és a bazalt egyaránt poláros molekulaszervezetű anyagok, ezért az általuk alkotott kompozitban könnyebb megvalósítani a megfelelő határfelületi kapcsolódást, illetve az adhéziót javító adalékok nélkül is a tulajdonságok bizonyos mértékű javulása várható. Mindezek mellett a biodegradábilis

kompozitok, azaz a természetben lebomló anyagok kifejlesztése is előtérbe került, hiszen a környezetvédelem fontos szempont a műanyagiparban is. [12],[13]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MISKOLCI, N.:** *Műanyagok feldolgozása*, Pannon Egyetem, Veszprém, 2012.
- [2] <http://www.cnc.hu/2016/05/a-froccsontes-technologiajanak-fejlodes-e-torteneti-attekintes/> 2017.05.24.
- [3] **CZVIKOVSKY, T. Nagy, P. Gaál, J.:** *A polimertechnika alapjai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [4] „Trendek a polimerek világában”. *Polimerek* **1** (1), 14–17. o, Kiadó: Magyar Műanyagipari Szövetség. (2015. július)
- [5] **BAGYINSZKI, Gy.:** *Anyagismeret és minőség*, Óbudai Egyetem BGK, Budapest, 2004.
- [6] **MÁTHÉ CS.-né:** *Szálerősítésű műanyagok technológiáinak fejlesztése*, Műanyagipari szemle, 2004.04.szám
- [7] **MÁTHÉ, CS.-né:** *Fröccsöntés és kompaundálás egy lépésben*, Műanyagipari szemle, 2014.03. szám
- [8] **MÁTHÉ, CS.-né:** *A fröccsöntés optimalizálásának eszközei*, Műanyagipari szemle, 2011. 02.
- [9] **SILVA, F.; MARTINHO, R.; ANDRADE, M.; BAPTISTA, A.; ALEXANDRE, R.** *Improving the Wear Resistance of Moulds for the Injection of Glass Fibre-Reinforced Plastics Using PVD Coatings: A Comparative Study*, Coatings, Volume:7, Issue:2, Portugal, 2017.02.
- [10] **MÁTHÉ, CS.-né:** *Természetes szálakkal erősített hőre lágyuló kompozitok feldolgozása és tulajdonságai*, Műanyagipari szemle, 2009.04.
- [11] **DEÁK, T. KOVÁCS, J. G., SZABÓ J. S.:** *Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid mechanikai tulajdonságainak vizsgálata*, Anyagvizsgálók lapja, 2005/3
- [12] **TÁBI, T., J. G. KOVÁCS,:** *Examination of injection moulded thermoplastic maize starch*, eXPRESS Polymer Letters, Vol1.No.12. 2007
- [13] **TÁBI, T., ÉGERHÁZI, A. Z., TAMÁS, P., CZIGÁNY, T., KOVÁCS, J. G.:** *Investigation of injection moulded poly(lactic acid) reinforced with long basalt fibres*, Composites Part A, 2014. 05.

IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEI KRIOGÉN TECHNOLÓGIÁVAL

DRILLING THE INDUSTRIAL PLASTIC PARTS USING THE CRYOGENIC TECHNOLOGY

**RAVAI-NAGY Sándor¹, SZÁZVAI Attila², SZIGETI Ferenc³, PAY Gábor
László⁴**

¹Ph.D., egyetemi adjunktus, nagy.sandor@nye.hu

²Műszaki oktató, szazvai.attila@nye.hu

^{3,4}CSc., főiskolai tanár, szigeti.ferenc@nye.hu, pay.gabor@nye.hu

Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem,
H-4400, Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11.

Kivonat: Jelen dolgozatunk a PE-HD1000 típusú polietilén hűtött, kriogén állapotban történő fúrási kísérleteinek eredményeit mutatja be. A kísérlet során vizsgáltuk a leválasztott forgács alakját, a furatból történő eltávolodását és a megmunkált furat méretpontosságát. Az alacsony hőmérsékleten történő megmunkálás eredménye a megmunkált anyag forgácsolhatóságának javulása és a megmunkált furat pontosságának a növekedése.

Kulcsszavak: kriogén állapot, furatmegmunkálás, ipari műanyag, PE-HD1000

Abstract: In the present work we present a study regarding the processing by drilling of the PE-HD1000 material in cryogenic conditions. In the experiment, we followed the detached chip shape, his removal from the hole and the machined hole precisions. The consequences of machining on low temperature are the increased machinability of the material and the increased precision for the machined hole.

Keywords: cryogenic conditions, drilling, industrial plastic, PE-HD1000

1. KRIOGÉN TECHNOLÓGIÁK ÁTTEKINTÉSE

Az ipari műanyagokat napjainkban az ipar különböző területein nagy mennyiségben alkalmazzák különböző előnyös tulajdonságaikért. Dinamikus fejlődésük, az új anyagok megjelenése egy folyamatos kihívás az ipar számára, mivel az optimális forgácsolási paraméterek az anyag függvényében jelentős eltéréseket mutatnak. Sok esetben az ipari műanyagok felhasználás szempontjából előnyös tulajdonságai a megmunkálás megfelelő forgácsolási paramétereinek megválasztása szemszögéből többértű kihívást jelenthet. Az ipari műanyagok forgácsolásához szükséges optimális paraméterek meghatározása folytonos kihívást jelent a gyártástechnológusok számára.

Megmunkálás során költséghatékonyan kell megvalósítani a tervezők által előírt méretpontosságot és felületminőséget.

Az ipari műanyagok megmunkálása során ismert, hogy a forgácsolási paraméterek meghatározó eleme a melegeedés, amely a szerszám – munkadarab – forgács súrlódása miatt és a forgács leválasztására használt energiából keletkezik. Az ipari műanyagok jelentős részénél a melegeedés következtében romlik az anyag forgácsolhatósága, a műanyagok a megmunkálás közben megolvadnak, a szerszámra és a munkadarabra ragadnak, ellehetetlenítve a megmunkálást.

A forgácsolási paraméterek növelésének az egyik módja a hűtő kenő folyadékok alkalmazása, azonban a polimerekre a hűtő-kenő folyadék negatívan hat, ezért a szakirodalom a száraz megmunkálást és a sűrített levegős hűtést ajánlja.

Az ipari műanyagok bizonyos hőmérséklet felett nem forgácsolhatók. A forgácsolási teljesítmény növelése érdekében a munkadarab melegedését korlátozni kell. A munkadarab és a szerszám meghatározott hőmérséklet alatt tartásáért alkalmazhatjuk a gyártási rendszer különböző részeinek a hűtését, ezáltal csökkentve a munkadarab, forgács és a szerszám melegedését.

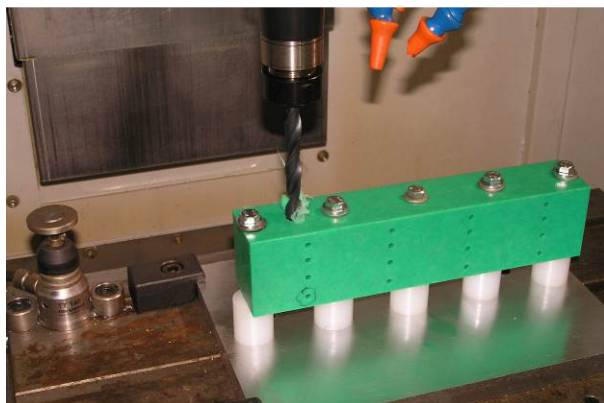
A krio környezetben történő megmunkálással kapcsolatos szakirodalom áttekintése alapján a kutatásokat három csoportba oszthatjuk:

- Szerszám hűtése (azon anyagok megmunkálásánál ajánlják, ahol a szerszámok túlmelegedése okozza időelőtti kopásukat, pl. keményfémek megmunkálása) [1], [2];
- Munkadarab hűtése (abban az esetben, amikor a megmunkálandó anyag tulajdonságain szeretnénk változtatni vagy a forgácsleválasztás mechanizmusát módosítjuk) [3], [4], [5];
- Munkadarab és szerszám hűtése (nagy pontosságú megmunkálásoknál, amikor a munkadarab és a szerszám hőtágulásából származó hibákat szeretnénk elkerülni) [6].

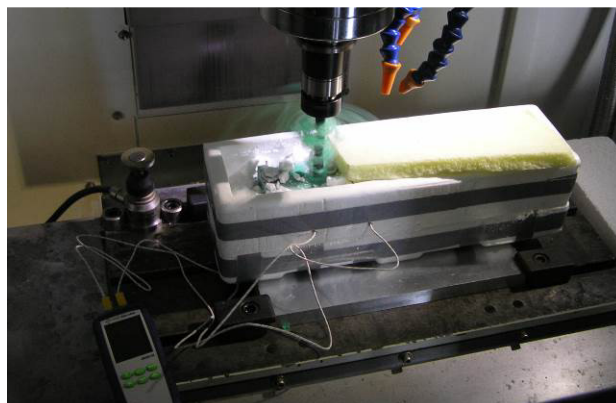
Jelen dolgozatunk a PE-HD1000 típusú polietilén hűtött, kriogén állapotban történő fúrási kísérleteinek eredményeit mutatja be. A kísérlet során a hűtésnek a furat pontosságára és a forgács leválasztási tulajdonságokra gyakorolt hatását tanulmányoztuk.

2. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS, A FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEK BEMUTATÁSA

A kísérleteket két beállításban végeztük el, egyszer „szobahőmérsékleten” $T_1=+20^{\circ}\text{C}$ -on és utána hűtve, kriogén környezetben $T_2=-35^{\circ}\text{C}$ -on, az 1. ábrán bemutatott technológiai rendszer segítségével.



$T_1=+20^{\circ}\text{C}$ -on történő megmunkálás



$T_2=-35^{\circ}\text{C}$ -on történő megmunkálás

1. ábra. A kísérleteknél használt technológiai rendszer

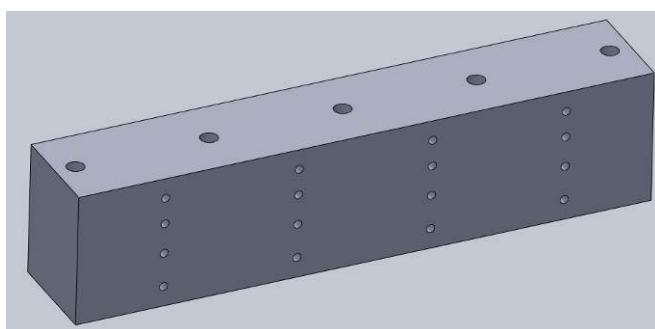
A furatmegmunkálási kísérletnél használt technológiai rendszer elemei:

- CNC vezérlésű szerszámgép: NCT EmL510B típusú;
- A próbatest rögzítésére és hűtésére tervezett készülék;
- Hőmérő, mérési tartomány -200°C -tól 1200°C -ig, K típusú szonda, mérési pontosság $0,1^{\circ}\text{C}$;

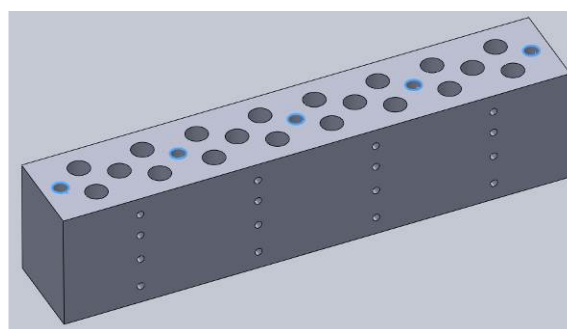
A kísérlet során $\varnothing 12\text{mm}$ -es átmérőjű furatokat készítettünk DIN 388 szabvány szerinti HSS csigafúróval $L=D$ furat mélységig.

- Megmunkált anyag: PE-HD1000
- Forgácsolási sebesség:
 - $v_1=6,50$ m/perc (főorsó fordulatszám: $n_1=180$ fordulat/perc);
 - $v_2=18,05$ m/perc (főorsó fordulatszám: $n_2=500$ fordulat/perc);
- Előtolás: $f_1=0,32$ mm/fordulat; $f_2=0,62$ mm/fordulat;
- Próbatesszt hőmérséklete: $T_1=+20^{\circ}\text{C}$; $T_2=-35^{\circ}\text{C}$;
- Hűtő közeg: szilárd széndioxid (száraz jég, SCO_2)

A kísérletek során, a fenti paraméterek kombinációi alapján 8 kísérleti beállításban végeztünk furatmegmunkálási kísérleteket. Minden egyes kísérleti beállításban 5 furatot készítettünk azért, hogy a kísérletekre vonatkozó statisztikai követelményeknek eleget tegyünk. A 2. ábrán bemutatjuk a munkadarab modelljét és a kísérletek során megmunkált furatok helyeit.



Kísérlet elvégzés előtt



Kísérlet elvégzése után

2. ábra. A kísérleteknél használt próbatesszt

A kísérlet során vizsgáltuk:

- a furat pontosságát;
- a leválasztott forgács alakját;
- a leválasztott forgács furatból történő eltávolodási mechanizmusát.

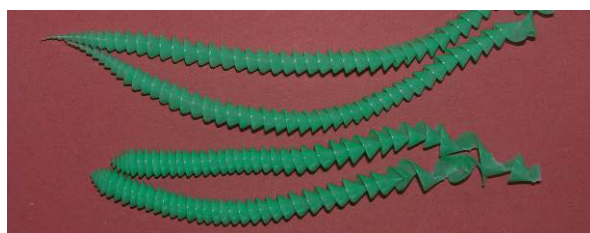
3. HAGYOMÁNYOS ÉS KRIOGÉN TECHNOLÓGIÁVAL VÉGZETT FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEINEK ISMERTETÉSE

Kiindulva a már ismertetett célkitűzésekből a kutatási eredményeket a következő csoportosításban ismertetjük:

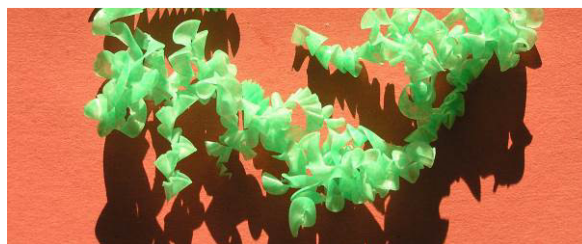
- A forgács alak változása a fordulatszám, az előtolás, a furatmélység és a megmunkálási hőmérséklet függvényében;
- A leválasztott forgács furatból történő eltávolodása;
- A megmunkált furatok átmérője és hengeressége az előtolás, a hőmérséklet és fordulatszám függvényében.

3.1. A forgács alak változása a fordulatszám, az előtolás, a furatmélység és a megmunkálási hőmérséklet függvényében

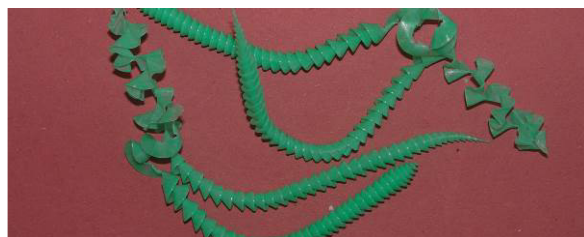
A furatmegmunkálási kísérletnél megmunkált PE-HD1000 anyagú próbatessztről a forgács, a forgács típusok szerint, folyóforgácsként választódik le. A kialakuló folyóforgács a hőmérséklet és az előtolás függvényében különböző módon gyűlik, tekeredik, szálasodik, könnyítve vagy megnehezítve a forgács furatból való eltávolodását (4. ábra).



$n_1=180$ f/p; $f_2=0,62$ mm/ford.; $T_2=-35^\circ$



$n_2=180$ f/p; $f_2=0,62$ mm/ ford.; $T_1=+20^\circ$



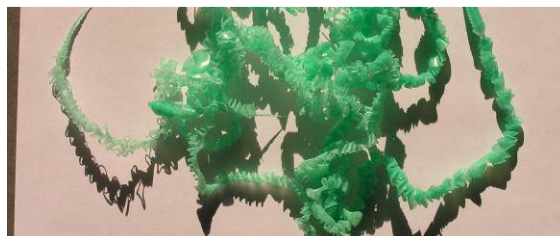
$n_1=500$ f/p; $f_2=0,62$ mm/ ford.; $T_2=-35^\circ$



$n_2=500$ f/p; $f_2=0,62$ mm/ ford.; $T_1=+20^\circ$



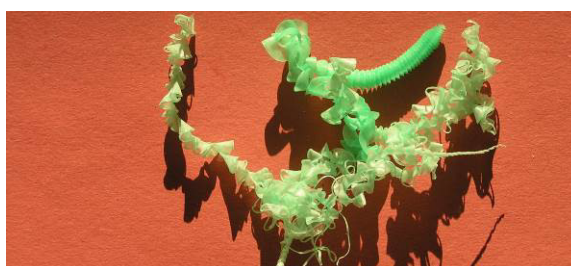
$n_1=180$ f/p; $f_1=0,32$ mm/ ford.; $T_2=-35^\circ$



$n_2=180$ f/p; $f_1=0,32$ mm/ ford.; $T_1=+20^\circ$



$n_1=500$ f/p; $f_1=0,32$ mm/ ford.; $T_2=-35^\circ$



$n_2=500$ f/p; $f_1=0,32$ mm/ ford.; $T_1=+20^\circ$

3. ábra. Forgács alak változása a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében (furatmélység $L=D$).

3.2. A leválasztott forgács furatból történő eltávolodása

A leválasztott forgács a megmunkálási paraméterek szerint különbözőképpen távolodik el a furatból és a szerszámról. Észrevehető a 4. ábrán, hogy az $f_2=0,62$ mm/fordulatnál $T_2=-35^\circ$ -on történő megmunkálás esetében a forgács a csigafúró hornyából eltávolodik, nem csavarodik fel a szerszámról, forgácsolási sebességtől, fordulatszámtól függetlenül. Ez a normaidő szempontjából is előnyös, mivel nincs idővesztés a forgács eltávolítása során, és a munkavédelem szempontjából is előnyös, mert a gépkezelőnek nem kell a forgácsra érnie.



$f_1=0,32 \text{ mm/ford.}; T_1=+20\text{C}^\circ$



$f_2=0,62 \text{ mm/ford.}; T_1=+20\text{C}^\circ$



$f_1=0,32 \text{ mm/ford.}; T_2=-35\text{C}^\circ$



$f_2=0,62 \text{ mm/ford.}; T_2=-35\text{C}^\circ$

4. ábra. A forgács csigafúróra történő felcsavarodása az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében

3.3. A megmunkált furatok átmérője és hengeressége az előtolás, a hőmérséklet és a fordulatszám függvényében

1. Táblázat: A megmunkált furatok átmérője és hengeressége az előtolás, a hőmérséklet és a fordulatszám függvényében.

T ₁ =+20 C°				
		n ₂ =500 ford./perc f ₂ =0,62 mm/ford.		
Furat száma		Megmunkált furathenger átmérője [mm]		
1		12,265		
2		12,286		
3		12,275		
4		12,271		
5		12,274		
Henger átmérő	min	12,265		Eltérés: 0,021
	max	12,286		

T ₂ =-35 C°				
		n ₂ =500 ford./perc f ₂ =0,62 mm/ford.		
Furat száma		Megmunkált furathenger átmérője [mm]		
1		12,407		
2		12,400		
3		12,412		
4		12,406		
5		12,400		
Henger átmérő	min	12,400		Eltérés: 0,012
	max	12,412		

T=+20 C°				
		n ₁ =180 ford./perc f ₁ =0,32 mm/ford.		
Furat száma		Megmunkált furathenger átmérője [mm]		
1		12,272		
2		12,283		
3		12,273		
4		12,272		
5		12,293		
Henger átmérő	min	12,272		Eltérés: 0,021
	max	12,293		

T=-35 C°				
		n ₁ =180 ford./perc f ₁ =0,32 mm/ford.		
Furat száma		Megmunkált furathenger átmérője [mm]		
1		12,443		
2		12,445		
3		12,438		
4		12,443		
5		12,447		
Henger átmérő	min	12,438		Eltérés: 0,009
	max	12,447		

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett kísérletek eredményeinek az elemzése alapján megállapítható:

- A hideg környezetben leválasztott forgácsok nem szálasodtak, a forgácsolás során keletkező hő nem olvasztotta meg őket. A 20 C°-on történő forgácsolásnál a forgácsok tömörültek, megszorultak a csigafűrő hornyában és a furatból nehezen voltak eltávolíthatók.
- A forgács nem csavarodik fel a szerszámmra $f_2=0,62$ mm/f előtolásnál hűtött állapotban, azonban $f_1=0,32$ mm/f előtolásnál még hűtött állapotban is megfigyelhető a forgács csigafűrőre történő felcsavarodása.
- A forgács szerszámmra történő felcsavarodása jelentős hátrányt jelent a CNC vezérelt megmunkálásoknál, mert a szerszámgépet meg kell állítani, emiatt megnő a normaidő.
- További kutatásokkal kell meghatározni azon forgácsolási paramétereket, amelyek használatával a forgács nem csavarodik fel a csigafűrőre.
- A hidegen megmunkált furat átmérőjének változása (0,012...0,009 mm, IT5-IT6 , megfelel a dörzsárral történő finommegmunkálásnak) jóval kisebb, mint a normál hőmérsékleten megmunkált furaté (0,021 mm, IT 8).
- A hidegen megmunkált furat átmérője 0,2 mm-rel nagyobb a hőtágulás miatt, ezért a kívánt furat pontossága érdekében 12 mm-es furatnál 0,2mm-rel kisebb átmérőjű szerszámot kell alkalmazni.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KHAN, A., A., AHMED M., I.:** *Improving tool life using cryogenic cooling.* Journal of Materials Processing Technology, 196, pp. 149–154, 2008.
- [2] **PUŠAVEC, F., KOPAČ, J.:** *Sustainability Assessment: Cryogenic Machining of Inconel 718.* Journal of Mechanical Engineering 57/9, 637-647, DOI: 10.5545/sv-jme.2010.249, 2011
- [3] **ALDWELLA, B., O'MAHONYB, J., O'DONNELLA G., E.:** *The effect of workpiece cooling on the machining of biomedical grade polymers.* Procedia CIRP 33, 305–310, 2014
- [4] **AMBROSY, F., ZANGER, F., SCHULZE, V., JAWAHIR I.S.:** *An Experimental Study of Cryogenic Machining on Nanocrystalline Surface Layer Generation.* Procedia CIRP 13, 169–174, 2014
- [5] **MOCERNEAC, B., E., LOBONTIU M.:** *Issues on the comparative study of milling rubber at cryogenic and at room temperatures.* Academic Journal of Manufacturing Engineering, 7(1), 51-56, 2009
- [6] **KAKINUMA, Y., KIDANI, S., AOYAMA, T.:** *Ultra-precision cryogenic machining of viscoelastic polymers.* CIRP Annals - Manufacturing Technology, 61(1), 79-82. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.03.039, (2012)

HŐENERGIAIGÉNY VIZSGÁLATA EGY MODEL ÉPÜLETNÉL HŐFOKGYAKORISÁGI GÖRBÉVEL

ANALYSY OF THERMAL ENERGY DEMAND OF A SAMPLE BUILDING BY TEMPERATURE FREQUENCY GRAPH

REHO Sándor¹, L. SZABÓ Gábor²

¹III. éves épületgépész hallgató, reho.sanyi1@freemail.hu

¹Debreceni Egyetem, Épületgépészeti és Lésztérnyomtechnika Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótmető u. 2-4.

²tanársegéd, l.szabo.gabor@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem, Épületgépészeti és Lésztérnyomtechnika Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótmető u. 2-4.

Kivonat: A munkában egy model épület fűtési energiatermelését vizsgáltuk. A kiszolgált rendszer egy irodaépület fűtési hálózata. Ennek fűtési energiaigényét szükséges fedezni. Az irodaház hőszükséglete szoftveres számítással lett meghatározva. A fűtési időszak hosszát és az épület energiaigényét a hőfokgyakorisági görbe segítségével határoztuk meg. A cikkben az energiatermelők üzemeltetési költségeit hasonlítottuk össze.

Kulcsszavak: energiatermelő, hőfokgyakorisági görbe, hőenergia

Abstract: In this article, the energy generating of a sample building is examined. The system can supply the heat demands of the building. The thermal energy demand of the office centre has been calculated by computer program. The length of the heating period and the heat energy demand has been calculated by temperature frequency graph. This article compares the operating costs of the energy generating system.

Keywords: energy generating system, Temperature Frequency Graph, thermal energy

1. BEVEZETÉS, AZ ÉPÜLET ISMERTETÉSE

Jelen cikk egy rövid összefoglalója a hasonló címmel a Körös Campus Alapítvány által a 2016-2017 tanévre kiírt pályázathoz beadott munkának, mely ott ösztöndíjat nyert. Az azóta eltelt időben a munka továbbfejlesztése is folytatódott, a legérdekesebb eredménye is szerepel a cikkben.

A pályázatra beadott dolgozat egy Mátészalkai irodaház fűtési energiatermelőit vizsgálta. Az energiatermelőket a gyakorlatban a kiépítésre kerülő szekunder rendszer ismeretében választjuk. Jelen munka során megfordítottuk az irányt, és a ténylegesen jelentkező igényekhez igyekeztünk megfelelő energiatermelőt választani. Ehhez szükséges volt alaposan megvizsgálni az igényeket.

A munka tárgyát képező irodaház Mátészalkán található. Az épület kétszintes, illetve rendelkezik egy pincszinttel, amely az irodaház teljes területe alatt húzódik. Az épület földszintjén üzlethelyiségeket találhatunk, amelyekhez mosdó, mellékhelyiség és raktár is tartozik. Az első és a második emeleten irodákat rendeztek be, illetve ezekhez tartozó mosdót, mellékhelyiséget és konyhát. A felső szinteket az északi oldalon található lépcsőházból közelíthetjük meg, és onnan tudunk lejutni a pincébe is. [1]

2. A HATÁRHŐMÉRSÉKLET MEGHATÁROZÁSA KLASSZIKUS MÓDON

Elsőnek foglalkozunk össze néhány alapfogalmat a kérdésben.

A hővesztés a helyiségből, illetve az épületből a környezetbe transzmisszióval és filtrációval távozó energiaáram. [2]

A hőveszteséget az úgynevezett hőveszteség tényezővel is jellemezhetjük, mely épület és külső hőmérsékletfüggő. Legegyszerűbben így tudjuk meghatározni [4]:

$$H_{veszt} = \frac{\dot{Q}_v}{t_i - t_{e,0}} \left[\frac{W}{K} \right] \quad (1)$$

ahol:

H_{veszt} – az épület hőveszteség tényezője;
 \dot{Q}_v – az épület hővesztesége méretezési állapotban;
 t_i – a méretezési belső léghőmérséklet;
 $t_{e,0}$ – a méretezési külső léghőmérséklet.

A *hőnyereség* alatt a sugárzásból és a belső hőforrásokból (emberek és gépek) származó hőáramot értjük.

A *hőszükséglet* az az energiaáram, amelyet méretezési feltételek mellett a fűtőberendezés révén a helyiségbe/épületbe kell juttatni ahhoz, hogy ott az előírt belső hőmérséklet (a megadott kockázati szinten) kialakuljon. Azaz a hőveszteség és a hőnyereség különbsége. [3].

A *fűtési határhőfok* az a napi középhőmérséklet, amelynél a fűtőberendezéseket üzembe kell helyezni. A *fűtési határhőmérséklet* egy másik megfogalmazás szerint az a külső hőmérséklet, amelyiknél az épület hőnyereségei egyenlők annak hőveszteségeivel. [4]

A vizsgált mintaépület hővesztesége 69,301 [kW], hőveszteségtényezője 1,980 [W/K]. A hőnyereségek összege 21,696 [W], így a hőszükséglete, 47,605 [kW]. A fűtési határhőmérséklet így ennél a mintaépületnél 9,04 [°C].

3. A HATÁRHŐMÉRSÉKLET EGY ÚJ MEGKÖZELÍTÉSE

A következőkben egy újszerű megközelítést írjuk fel a fűtési és hűtési határhőmérséklet meghatározásának. Vegyünk egy diagramot, melynek a vízszintes tengelyén a külső hőmérséklet szerepel, míg a függőleges tengelyén a következő függvény:

$$f(t_e) = \frac{\dot{Q}_{sz}}{\dot{Q}_{ny}/\dot{Q}_v} = \dot{Q}_v - \frac{\dot{Q}_v^2}{\dot{Q}_{ny}} \quad (2)$$

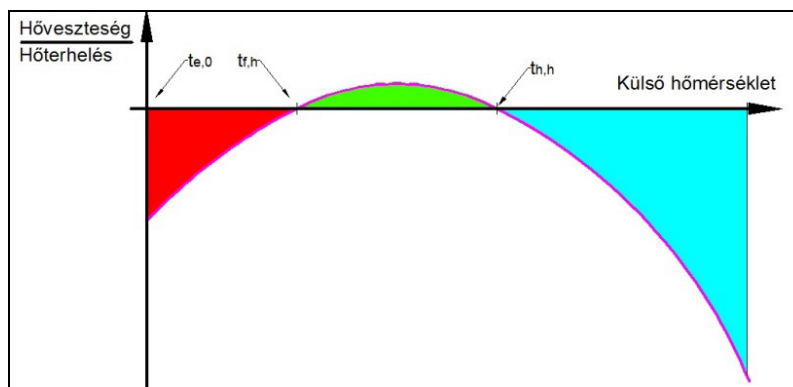
ahol:

\dot{Q}_{ny} – az épület hőnyeresége,
 \dot{Q}_{sz} – az épület hőveszteségének és hőnyereségének különbsége.

A vizsgált egyenletet felírhatjuk a külső hőmérséklet függvényében is, felhasználva a hőveszteség tényezőt:

$$f(t_e) = \left[-\frac{H_{veszt}^2}{\dot{Q}_{ny}} \right] \cdot t_e^2 + \left[2 \cdot \frac{H_{veszt}}{\dot{Q}_{ny}} \cdot t_i - H_{veszt} \right] \cdot t_e + \left[H_{veszt} \cdot t_i \left(1 - \frac{H_{veszt} \cdot t_i}{\dot{Q}_{ny}} \right) \right] \quad (3)$$

A függvényt ábrázolva, az 1. ábrán látható másodfokú görbét kapjuk.



1. ábra. A vizsgált függvény

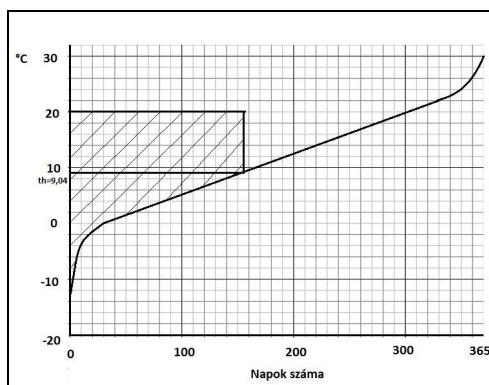
Ennek a függvénynek a zérushelyei a fűtési („ $t_{f,h}$ ”) és hűtési („ $t_{h,h}$ ”) határhőmérséklet:

$$t_{f,h} = t_i - \frac{\dot{Q}_{ny}}{H_{veszt}} \quad \text{illetve} \quad t_{h,h} = t_i$$

A zérushelyek három tartományra osztják a függvény görbe alatti területét. Az első tartomány (piros) a téli méretezési külső hőmérséklet és a fűtési határhőmérséklet, a második a két határhőmérséklet közötti rész (zöld), a harmadik pedig a hűtési határhőmérséklet és a nyári legnagyobb külső hőmérséklet közötti terület (kék). Az első tartomány a gépi fűtést, a második gépi fűtést/hűtést nem igénylő szakasz, míg a harmadik a gépi hűtést igénylő tartomány. Az ábra alapján minél szélesebb a középső tartomány, annál kevésbé igényel külső, mesterséges energiabevitelt, illetve elvezetést. Az energiahatékonyság szempontjából annál jobb az épület szerkezeti kialakítása, és használata (belső hőterhelések).

4. A HŐFOKGYAKORISÁG SZEREPE A FŰTÉSI ENERGIA MEGHATÁROZÁSÁBAN

A gyakorisági görbéről azt olvashatjuk le, hogy egy év során pontosan hány napig fordul elő egy bizonyos napi középhőmérséklet. A koordináta-rendszer vízszintes tengelyén a napokat, a függőleges tengelyen a hőmérsékleteket feltüntetve a 2. ábrán látható görbét kapjuk eredményül. Fontos megjegyezni, hogy a görbe egy földrajzi helysége jellemző értékeket mutat be.



2. ábra. Magyarországra jellemző hőfokgyakorisági görbe Macskásy Á. alapján [5]

A fűtési határhőmérsékletet, illetve a fűtendő helyiségek hőmérsékletét berajzolva a hőfokgyakorisági görbébe, meghatározhatjuk a fűtési napok számát, majd ebből a hőfokhíd értékét. Ez a művelet az éves energiaigény meghatározásához szükséges.

A vizsgált épület esetén a fűtési napok száma 155 nap, a hőfokhíd értéke pedig 66.202,845 [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{K}$]. Ebből az energiaigény úgy nyerhető, hogy a hőfokhíd értékét a hőveszteség tényezővel szorozzuk. Így 131.081 [$\text{kW}\cdot\text{h}$] fűtési energia igényt kapunk.

Az így nyert eredményeket (a diagramleolvasás miatt) pontatlannak éreztük, emiatt egy olyan összefüggést kerestünk, amely segítségével matematikai úton is meghatározható az energiaigény nagysága. Ez a módszer Dr. Kalmár Ferenc: „*Energiafelhasználás csökkentése lakóépületekben*” című könyvében található. Ennek segítségével a Fűtési napok száma a következő összefüggéssel határozható meg:

$$N = \left(\frac{t_h - t_{e0}}{3,55} \right)^{2,6} \quad (4)$$

ahol:

N – a fűtési napok száma;

t_h – a fűtési határhőmérséklet.

Az energiaigény pedig:

$$E = H_{veszt} \cdot N \cdot \left[(t_i - t_{e,0}) - 2,566 \cdot N^{0,3835} \right] \quad (5)$$

Ez, az emberi leolvasási pontatlanságtól mentes módszerrel a fűtési napok száma 144,49 nap, míg a fűtési energiaigény 121.667 [kWh] lett. A továbbiakban ezzel számoltunk tovább.

5. A FŰTÉSI RENDSZER ELLÁTÁSÁRA LEHETSÉGES ENERGIATERMELŐK ÉS ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az épület hőszükségletét fedező lehetséges energiatermelő kiválasztására rengeteg lehetőség van. Célszerű megvizsgálni a legkülönbözőbbeket, ugyanis a működtetésük költsége is viszonylag nagy határok között mozoghat. A dolgozatban a vizsgált energiatermelők kazánok és hőszivattyúk.

A hőszivattyúk esetében azt vizsgáltam, hogy a talajkollektoros és talajszondás rendszereknek milyen kondenzátor felületet kell biztosítani, hogy működőképes legyen.

Végül ezt a megoldást vettem össze egy kondenzációs kazánnal. Az összehasonlításai szempont az üzemeltetési költség volt.

Első lépésben meghatároztuk az energiaforrás által biztosítandó energiaigényt. Ez a hőszivattyúnál:

$$E'_{hsz} = \frac{E}{SPF} \quad (6)$$

Míg a kondenzációs kazánnál:

$$E'_{kk} = \frac{E}{\eta_{\text{éves}}} \quad (7)$$

Az SPF értékét 3,83 [-]-ra vettük Branimir Pavkovic: „*Alkalmazott hőszivattyús rendszerek új és felújított épületeknél*” című munkája nyomán, míg az éves hatásfokra 103,86 %-ot (a DIN 4702 szabvány alapján, alsó fűtőértékre vonatkoztatva). [6]

Az elsőnél ezt az energiát elektromos áramból, a második gáztüzelésből nyerjük. Felhasználva az aktuális áram és gáz árakat, a kondenzációs kazán üzemeltetésére fordított összeg 1.260.246 [HUF], míg a hőszivattyús rendszer üzemeltetési költsége 1.168.613 [HUF]. (Ez az összeg nem tartalmazza a karbantartási költségeket, és a beruházási költségeket, mely árnyalja a képet).

6. ÖSSZEGZÉS

A munka során egy irodaház hőenergia ellátását vizsgáltuk, az igények felől közelítve. Az eredményeket több befolyásoló tényező árnyalja. Olyanok, mint az épület hőszigetelése, a kazán, illetve a hőszivattyú hatásfoka, a méretezési állapot igen ritka beállása, vagy épp az ellátni kívánt szekunder rendszer.

A munka a hűtési energiaigény vizsgálatával fog tovább folytatódni.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BÓCSI, V.**, *Különböző hidraulikai rendszerek összehasonlítása szivattyúzási munka alapján*. Szakdolgozat, Debrecen, 2015
- [2] **DR. HOMONNAY GYÖRGYNÉ** (szerk.): *Épületgépészet 2000 II. - Fűtéstechnika*, Épületgépészet kiadó kft., Budapest, 2001. ISBN 963.00.8367.1
- [3] **DR. ZÖLD A.**, (szerk.): *Épületgépészet 2000 I. - Alapismeretek*, Épületgépészet kiadó kft., Budapest, 2001. ISBN 963 03 97102
- [4] **DR. KALMÁR F.**: *Energiafelhasználás csökkentése lakóépületekben*, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2009. ISBN 978-963-473-288-4
- [5] **VÖLGYES I.** (szerk.): *Fűtéstechnikai adatok*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989, ISBN: 963-10-7223-1
- [6] **PAVKOVIC, B.**: *Alkalmazott hőszivattyús rendszerek új és felújított épületeknél*, 2012., HUHR/1001/2.2.1/0009
- [7] **DR. MACSKÁSY Á.**: *Központi fűtés I-II.*, Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1975, ISBN: 963-17-1539-6
- [8] **MENYHÁRT J.** (szerk): *Az épületgépészet kézikönyve*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978, ISBN: 963-10-2479-2
- [9] **DR. FEKETE I.** (szerk): *Épületfizika kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985, ISBN: 963-10-6428-x
- [10] **VERBAI Z., DR. LAKATOS Á., DR. KALMÁR F.**: *Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day*, Energy 76, 2014, ISSN: 0340-5442
- [11] **CSOKNYAI I., CSOKNYAI T.**: *A fokozott hőszigetelésű épületek fűtési határhőmérsékletének és hőfokhídjának alakulása a tényleges fogyasztási adatok alapján*, Magyar Épületgépészet LXII, 2013, HU ISSN 1215 9913
- [12] **VERBAI Z., DR. KOCSIS I. DR. KALMÁR F.**, *Outdoor dry bulb heating design temperatures for Hungary*, Energy 93, 2014, ISSN: 0360-5442
- [13] **VERBAI Z., LÁZÁR I., DR. KALMÁR F.**: *Heating degree day in Hungary*, Environ. Eng. Manag. J., 2014, ISSN: 1582-9596
- [14] **REHO S.**: *Egy iroda épület energiatermelő lehetőségeinek vizsgálata, a hőfokgyakorisági görbe felhasználásával*, TDK dolgozat, Debrecen, 2016

- [15] **IHLE, C., BADER, R., GOLLA, M.:** *Épülettechnikai tudástár* (1. magyar kiadás), TGA Consult kft., ISBN 978-3-441-92162-2
- [16] **VERBAI Z.:** *Épületek fűtési energiaigényének vizsgálata*, egyetemi doktori értekezés, 2016, Debreceni Egyetem

ALIFÁS SZÉNHIIDROGÉNNEK ELLENÁLLÓ LÁGY PVC GRANULÁTUM REOLÓGIAI VIZSGÁLATA

ALIPHATIC HYDROCARBON RESISTANT PVC GRANULATE RHEOLOGICAL EXAMINATION

ROMÁN Krisztina¹, ZSOLDOS Gabriella²

¹doktorandusz, polkrisz@uni-miskolc.hu

¹Kerámia- és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

²adjunktus, femzsgab@uni-miskolc.hu

²Kerámia- és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A publikációban alifás szénhidrogénnek ellenálló lágy PVC granulátum előállításával és ömledékének vizsgálatával foglalkozunk. Több típusú keverék közül kiválasztva a legjobb tulajdonságokkal rendelkezőből próbagyártás és reológiai vizsgálat készült. A reológiai vizsgálatok anyagszerkezeti, modellezési és feldolgozási segítséget nyújtanak. Ezek ismeretében szükséges az ilyen típusú mérések elvégzése. A reológiai vizsgálat eredménye a granulátum viszkozitás értékeire ad következtetést.

Kulcsszavak: lágy PVC, granulátum, ömledék reológia, alifás szénhidrogén

Abstract: In this paper deal with aliphatic hydrocarbon resistant plasticizer PVC granulate production and melt investigation. Prepared some different types of recipes, from these choose the best performed-properties blends. After the selection made some test from the best granulate. The rheological investigations help to understand the modeling and the processing, furthermore gives information about the material structure. In view of this, it is necessary to carry out this type of measurement. From the rheological test results inferred the granulate viscosity values.

Keywords: plasticizer PVC, granulate, melt rheology, aliphatic hydrocarbon

1. BEVEZETÉS

Napjainkban, életünkben egyre fontosabb szerepet töltenek be a műanyagok. A technológiai fejlődésnek köszönhetően a PVC alapanyagból készült termékek száma is egyre bővül. A sok negatív visszhang ellenére még mindig jelentős ezeknek a készítmények forgalmazása és felhasználása. Egy új termék kifejlesztése pontos anyagszerkezeti és feldolgozási ismereteket kíván maga után. Termék fejlesztés vagy új kialakításának első lépése a felhasználási terület meghatározása. Általában a területhez igazítva választjuk ki azokat az adalékanyagokat, melyek a kívánt tulajdonságokat fogják biztosítani [1]. Jelen esetben alifás szénhidrogénnek ellenálló PVC termék kialakításról szól a publikáció. Az alifás szénhidrogének, mint a bután, pentán meglehetősen agresszív oldószerek, így különleges adalék nélküli sima lágyított PVC cső ilyen felhasználásra nem alkalmas.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Receptúrák

A keverékek alapanyaga PVC por. A PVC porhoz feldolgozáshoz szükséges anyagok után a funkcionális adalékok adagolásával érhető el a megfelelően kialakított belső szerkezet. A cél egy termodinamikailag összeférhető homogén rendszer kialakítása, amely alifás szénhidrogénnel szemben ellenállást fog biztosítani. Ennek megfelelően a keverék tartalmaz további NBR-t (nitril-kaucsuk) lágyítót és töltőanyagot [2][3]. A keverékhez kéttípusú

lágýtót alkalmazva érhető el a pentánnal szembeni ellenállás. A lágýtók és az NBR tömegaránya fogja meghatározni az ellenállás mértékét. Ezek alapján 2 eltérő típusú keveréket készítettem, ahol az adalékok tömegrész aránya változott [4].

2.2. Keverék készítés

Az alap és az adalékanyagok keverésével egy homogén porkeverék készült. A keveréket egy kisméretű laborkeverőben homogenizáltam. A keverés során ügyelni kell az adalékok pontos mennyiségére és azok adagolási ütemére, mivel nem mindegyik adható már a keverés elején a rendszerhez. Minden anyag másféleképpen reagál a hőmérséklet változásra, így a keverék csomósodásának elkerülése a pontos adagolással érhető el. A 2 db blendből egy granuláló fejjel ellátott extrúderen 3-4 mm vastagságú granulátumokat készítettem [4]. Négy fajta granulátum készült, 2 db ebből eltérő összetételű, megnevezve M.1. és M.2. minták. A reológiai vizsgálatoknál szokás a termék előéletének vizsgálata, mivel ennek is befolyásoló hatása van a szerkezetre, ennek megfelelően az M.2. mintából egy alacsonyabb és egy magasabb hőmérsékleten történő granulálás is készült, ezeket neveztük M.2. alacsony T és M.2. magas T mintáknak.

2.3. Ömledék reológia

Az ömledék reológia ismertetek a polimertechnika szempontjából igen fontosak, mivel ez a tudomány az anyagok deformációját fogalmazza meg. A polimer ömledékek reológiai viselkedésének tanulmányozása azért is fontos, mivel mind a polimer minőségének az ellenőrzését, a szerszámtervezését, modellezést és a feldolgozási paramétereket ez alapján tudjuk beállítani és meghatározni. Egy ömledék folyási tulajdonságait nagymértékben a következők befolyásolják: molekulatömeg, polimer láncszerkezet, a feldolgozási hőmérséklet, nyomás, idő, degradáció, nyírási sebesség [5]. A PVC supermolekuláris szerkezete lehetővé teszi azt, hogy egy terméken akár 10 év múlva is ilyen vizsgálatot végezzünk. A supermolekuláris szerkezet a feldolgozás során bontódik le, amely nagymértékben hőmérséklet és nyírósebesség függő. A termék hűlésével ez a felbontott szerkezet nem alakul vissza, hanem „feltárt” állapotban szilárdul meg. Ebből a megdermedt állapotból fogunk tudni a termék előéletére következtetni.

3. VIZSKOZITÁS MEGHATÁROZÁSA

3.1. Ömledék reológiai vizsgálat

Az ömledék - reológiai tulajdonságokat a viszkozitás, a nyírósebesség és a hőmérséklet függéséből egy extruziométeres mérésből határoztam meg [5]. Ez tulajdonképpen egy kapillár-viszkozimetria, ahol a nyomás a csigaszivattyúval hozható létre. A mérést 3 hőmérséklet programmal végeztük, a csigafordulatszámot 20 és 100 fordulat/perc változtatásával mind a 4 minta esetében. Az extrúderből távozó anyag mennyisége, térfogatarama az extrúder fordulatszámától és az anyag viszkozitásától függ. A folyásgörbe felvételéhez szükséges az extrúdercsigát egyre nagyobb fordulatszámmal üzemeltetni. A műszer méri a G tömegáramot [g/perc], az ömledék nyomásait és hőmérsékleteit a beáramlási és kiáramlási pontokon. Az értékelésnél figyelembe kell venni, hogy a tényleges anyaghőmérséklet a beállított érték felett van.

3.2. Viskozitás értékének meghatározása

A viszkozitás értékeinek kiszámítása a kapillárisfalra számított nyírófeszültség és nyírósebesség felhasználásával történik. Az extrúzióméteres vizsgálat kapilláris adataival, a nyomásértékekkel kiegészítve az ömledék viszkozitása meghatározható, a folyásgörbe felvehető. A vizsgálathoz szükséges a résszerszám pontos méreteinek megadása. A mérés végeztével a kapott eredmények még korrekcióra szorulnak. A deformáció sebesség korrigálásával kapható meg a paraméterek valós értéke, amelyből adódik a viszkozitás tényleges nagysága. A deformáció sebesség érték korrekciójára azért van szükség a mérés alapelve a newtoni folyadékokra vonatkozik. A műanyag ömledék azonban nem newtoni folyadék, tehát viszkozitás változik a deformáció változásával. Ezért szükséges az erre vonatkozó korrekció is a Rabinowitsch - korrekció (3). A Rabinowitsch - korrekció a látszólagos deformáció sebesség korrigálásával, adja meg a valós értéket [5].

A korrekciókhoz szükséges összefüggések a következők:

$$\tau_{ap} = \frac{HB}{2(H+B)} \times \frac{p}{L}, \quad (1)$$

ahol:

- τ - nyírófeszültség [MPa],
- H - a rés vastagsága [mm],
- B - a rés szélessége [mm],
- p - nyomásesés [Pa],
- L - a rés hossza [mm],

$$\dot{\gamma}_{ap} = \frac{6\dot{Q}}{BH^2}, \quad (2)$$

ahol:

- $\dot{\gamma}_{ap}$ - számított deformáció sebesség [1/s],
- \dot{Q} - térfogatáram [mm³/s],
- H - a rés vastagsága [mm],
- B - a rés szélessége [mm],

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\gamma}_{ap}}{3} \times \left(2 + \frac{d \log \dot{\gamma}_{ap}}{d \log \tau} \right), \quad (3)$$

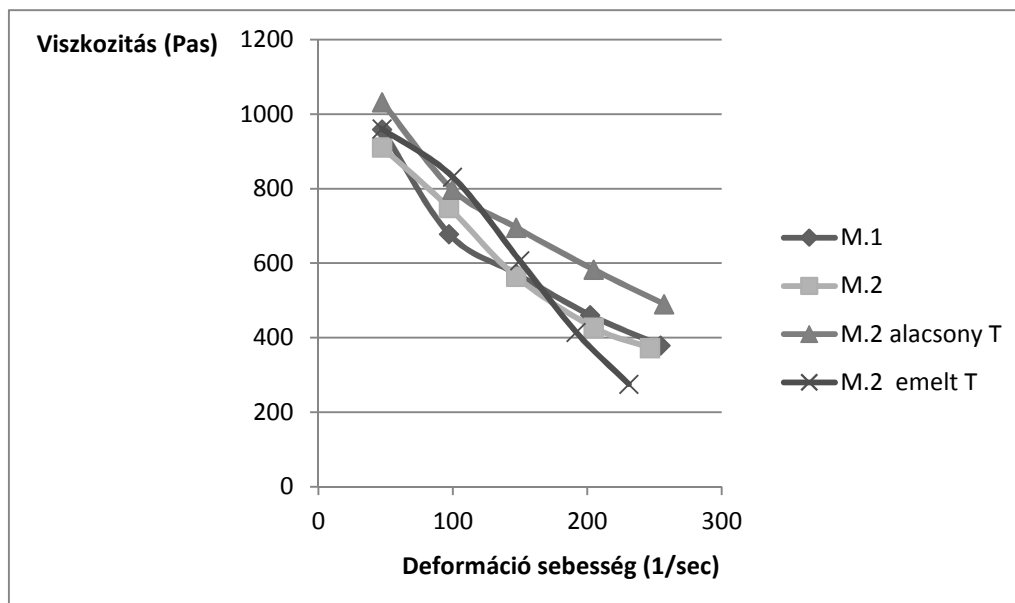
ahol:

- $\dot{\gamma}_{ap}$ - számított deformáció sebesség [1/s],
- $\frac{d \log \dot{\gamma}_{ap}}{d \log \tau}$ - a $\log \dot{\gamma}_{ap} = f(\log \tau)$ görbe meredeksége

A mért feszültség (τ_{ap}) (1) és mért korrigált deformáció sebesség ($\dot{\gamma}$) (2) értékek hányadosából adódik a műanyag viszkozitásának nagysága, amely a korrekció miatt a valódi értéket mutatja meg.

3.3. Viskozitás görbék

A deformáció sebesség és a viszkozitás értékeiből viszkozitás görbéket készítettem. Említettem a termék előéletének fontosságát, így 4 db viszkozitás görbe eredményeit hasonlítottam össze.



1. ábra: Viszkozitás görbék eredményei

Az 1. ábra az eltérő tulajdonságú granulátumok viszkozitás görbéit tartalmazza. Látható, hogy mind a 4 db görbe lefutása eltér egymástól, ezeket az adalékanyagok mellett gyártási paraméterek is befolyásolják. Az M.1 és az M.2. minta 100 1/sec deformáció sebesség és 700 Pas viszkozitás értéknél különbözik egymástól, ezt az eltérő lágyító mennyiség okozza. Az alacsony hőmérsékleten granulált M.2-es minta a többihez képest magasabb viszkozitási értékekkel rendelkezik, ebből is látszik az előélet fontossága. Az emelt hőmérsékleten granulált M.2 minta meredeksége nagyobb ez a nyírófeszültségből adódik. Az M.2 típus ezért nem megfelelő a kívánt termék gyártásához, már külsőre is eltért, színe a granulálás során sárgább a többitől. A granulátumok előélet vizsgálata azért is fontos mivel a keverék készítése közben és a granulátum előállításakor is megfigyelhetjük a tulajdonságok eredetitől való eltérését.

4. ÖSSZEGZÉS

Az eredmények alapján látható, hogy eltérő lágyítótartalom esetén is előfordulhat azonos, vagy csak kismértékben eltérő reológiai viselkedés. A granulátum termikus előélete befolyásolja a PVC ömledék reológiai tulajdonságait, ezért a reológiai viselkedés megítéléséhez elengedhetetlen az előélet ismerete. Az előélet ismeretével a termék jövőbeni hibáinak kiküszöbölése is egyszerűsödik. A vizsgálattal, a granulátum készítés és a későbbi feldolgozáshoz, extrudáláshoz szükséges paraméterek pontosabban beállíthatók.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **G. AKOVALI:** *Plastic materials, Polivinyll chloride (PVC). Turkey (2012)*
- [2] **W.V. TITOW:** *PVC technology. Fourth edition, Elsevier applied publishers London, New York (1984)*
- [3] **M. SCHILLER:** *PVC Additives, Hanser Publications (2010)*
- [4] **ROMÁN K:** *Alifás szénhidrogéneknek ellenálló lágy PVC receptúra kialakítása, diplomamunka, Miskolci Egyetem (2016)*
- [5] **CZVIKOVSKY T. :** *A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, (2000)*

A FŰTÉS-HŰTÉSRE HASZNÁLT KÉT ÉS NÉGYCSÖVES FAN-COIL RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

THE COMPARISON OF TWO- AND FOUR-PIPE FAN-COIL SYSTEM FOR HEATING COOLING

ROZGONYI Valentin ¹, L. SZABÓ Gábor ², BODÓ Béla ³

¹ III. éves hallgató, rozgonyivalentin@icloud.com

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

² Tanársegéd, l.szabo.gabor@eng.unideb.hu

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

³ Mesteroktató, bela.bodo@eng.unideb.hu

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: A tanulmányban megvizsgáltuk a fan-coilok szakirodalmát, és az egyik legfontosabb kiválasztási kérdését. Megterveztünk egy irodaépületben egy két csöves és egy négycsöves rendszert, melyekkel hűteni és fűteni is tudunk. Ezután kiértékeljük a tervezési eredményeket.

Kulcsszavak: fan-coil, fűtés, hűtés

Abstract: In this study we have reviewed fan-coil literature. We examined a very important question of fan-coil selection. We designed a two- and a four-pipe fan-coil system in a office building. We can use this systems for heating and cooling. We evaluated the design results.

Keywords: fan-coil, heating, cooling

1. BEVEZETÉS, A TÉMA JELENTŐSÉGE

Jelen cikk egy rövid összefoglalója a hasonló címmel a Körös Campus Alapítvány által a 2016-2017 tanévre kiírt pályázathoz beadott munkának. Az azóta eltelt időben a munka továbbfejlesztése is folytatódott, a legérdekesebb eredménye is szerepel a cikkben.

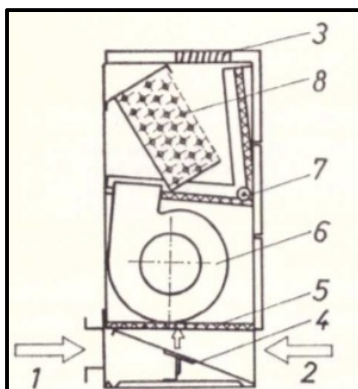
Irodaépületek esetén gyakran kerül alkalmazásra fan-coil rendszer, ha az épület hűtését és fűtését is meg kell oldani. Annak eldöntése, hogy a két vagy a négycsöves verzió kerüljön kialakításra a tervező döntése.

A munka egy mintaépület esetében megtervezésre került kétcsöves és négycsöves rendszeren keresztül hasonlítja össze a két megoldást.

2. A FAN-COIL KÉSZÜLÉKEK ÁLTALÁNOS KIVÁLASZTÁSA ÉS MÉRLETEZÉSE

A fan-coil készülék vagy klímakonvektor egy ventilátor és egy hőcserélő összeépítése, célszerű tartozékokkal kiegészülve. (1. ábra)

A készülékben a ventilátor (6) beszívja a helyiség (1) és a friss levegő (2) keverékét egy szűrőn (5) keresztül. A keverékben a komponensek arányát a keverőcsappantyúval (4) tudjuk beállítani. A beszívott levegőt a hőcserélőn (8) keresztül jutva a szellőzőrács (3) át lép be a helyiségbe. Hűtési üzemben keletkező kondenzátum a cseppvíztálcában gyűlik össze.



1. ábra Egy fan-coil készülék felépítése [1]

A fan-coil az egyik legegyszerűbb olyan technikai megoldás, amely egy helység hűtésére és fűtésére is használható. A hőcserélők száma alapján beszélünk egy hőcserélős (kétsőves) és két hőcserélős (négycsőves) kialakítást.

Akkor használjuk, ha az adott helységet hűteni és fűteni is szeretnénk, valamint ha nem alvásra használt helységről van szó (zajproblémák miatt). Bár utóbbi esetre is vannak már megoldások.

A fan-coil készülékeknél kiválasztásánál a hűtési üzemmód a domináns, és úgy kell megtenni, hogy a helység maximális hőterhelése és az adott hőfok melletti érezhető hűtőteltjesítmény közel azonos legyen. A kiválasztást ellenőrizni kell zajtechnikai és fűtésttechnikai szempontból is. A zajtechnikai előírásokat (pl. MSZ CR 1752, MSZ 18151, 7/2006 TNM rendelet) össze kell vetni a gyártó által, az adott fokozathoz megadott értékkel.

A fűtési szempontoknál mindig túlméretezett lesz, és ezt kezelni kell. A legegyszerűbb mód, a fűtési hőfoklépcső és előmenő víz hőmérséklet csökkentése. A fűtési szempontból történő túlméretezés a kétsőves típusoknál jelentősebb. A kéthőcserélős megoldásoknál ezt a problémát kezelendő, egy nagyobb hűtési és egy kisebb fűtési hőcserélőt alkalmaznak.

A fan-coil készülékek nagy hidraulikai ellenállással rendelkező hőcserélők. Az ebből származó probléma, akkor jelentkezik, amikor más energialeadókkal (pl. radiátor) kell egy hidraulikai rendszerbe építeni. Erre a beszabályozásnál kell ügyelni. Ezeknél a készülékeknél gyakorta alkalmazunk PIBVC szelepeket a szabályozás és a beszabályozás kezelésére.

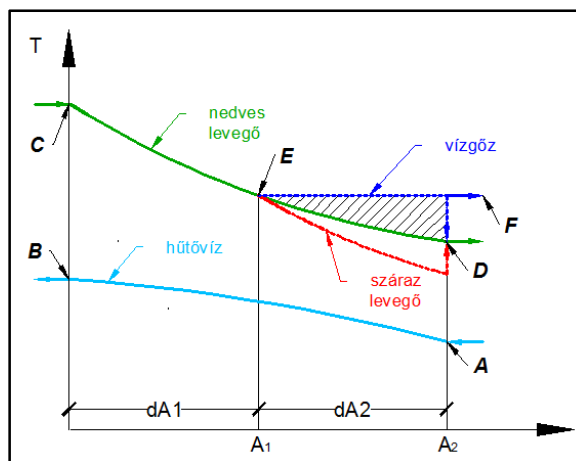
3. AZ ÉREZHETŐ ÉS A REJTETT HŐ KAPCSOLATA FAN-COILOK-NÁL.

A fan-coilok kiválasztásának egyik leggyakoribb problémája az érezhető és a rejtett hő kapcsolatának és hatásának megértése. Ebben a pontban igyekszünk ismertetni ezt. Elsőnek definiáljunk néhány fogalmat.

Érezhető hűtési teljesítménynek nevezzük azt az időegység alatti hőenergia elvonást, melyet a meleg levegő hőmérséklet csökkentésére tudunk fordítani. *Teljes vagy totál hűtési teljesítmény* az az időegység alatti hőelvonás melyet a hűtési rendszerrel meg kell tudnunk valósítani annak érdekében, hogy létre tudjuk hozni a szükséges léghőmérséklet csökkentését.

Abban az esetben, ha a levegő a harmatponti hőmérséklet felett dolgozik, a két teljesítmény megegyezik. (Hasonlóan a klíma(hűtő)gerendákhoz, melyek szerkezeti kialakítása hasonló a fan-coil-okéhoz.) Ha a kilépő levegő hőmérséklete a harmatponti hőmérséklet alatt van, akkor megindul a levegő nedvesség tartalmának kicsapódása.

A jelenséget nyomon követhetjük a 2. ábrán.



2. ábra A fan-coil készülékben lejátszódó hőmérsékletváltozás hűtésnél.

A fan-coil-ba a hidraulikai hálózatról „A” állapotba lép be a hűtővíz, majd a hőcsere megtörténte után „B” állapotban távozik. A tömegárama nem változik, de a hőmérséklet az előremenő víz hőmérséklet szintjéről ($\approx 7^\circ\text{C}$) a visszatérő víz hőmérséklet szintjére ($\approx 12^\circ\text{C}$) emelkedik. A légoldal változása ennél összetettebb. A „C” állapotú meleg helyiség levegő belép a fan-coil-ba „ \dot{m}_0 ” tömegárammal és „ $t_{l,be}$ ” léghőmérséklettel ($\approx 26^\circ\text{C}$). A hidegvíz által történt hőelvonás hatására az „E” állapotba jut. Eddig a tömegárama nem változik, de a hőmérséklete eléri a harmatponti hőmérsékletét ($\approx 17^\circ\text{C}$). A hőcsere ezen pontjáig nincs érzékelhető különbség az érezhető és az összes hűtési teljesítmény között.

A folyamat innen gyakorlatilag egyenletesen halad a „D” állapot felé, viszont elméletileg ketté bontható. A keverék két fő összetevője (száraz levegő és a vízgőz) másképp viselkedik. A száraz levegő egyenletesen hűl a kilépési léghőmérsékletnél („ $t_{l,ki}$ ”) alacsonyabb hőmérsékletre. A száraz levegő „ \dot{m}_1 ” tömegárama a vízgőz tömegáramánál kisebb a belépő nedves levegő tömegáramhoz („ \dot{m}_0 ”) képest.

A másik összetevő, a nedves levegő vízgőztartalma az „E” állapotból harmatponti hőmérsékleten („ $t_{h,h}$ ”) és „ \dot{m}_2 ” tömegárammal „távozik”. A folyamatos hőelvonás során folyamatosan kondenzálódik, ez a kondenzátum lesz a keletkező cseppvíz mennyisége („F” állapot). A visszamaradó vízgőz „ \dot{m}_3 ” tömegárammal és harmatponti hőmérsékleten „keveredik” (igazából szét se váltak egyebár) a visszahűlt szárazlevegővel, és a keveredés után felveszi a kilépő nedves levegő „D” állapotát. Mely alacsonyabb hőmérsékletű és kevesebb a „C” állapotához képest.

4. A RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA TERVEZÉS ALAPJÁN

A kétcsöves és a négycsöves fan-coil rendszer összehasonlítását több szempont alapján, egy mintarendszeren keresztül szeretnénk bemutatni.

A két rendszer egy kétszintes irodaépületben lett kialakítva. Az épület hasznos alapterülete 294 m^2 . A határolószervezetek hőátbocsátási tényezői megfelelnek az érvényben lévő 7/2006-os TNM rendelet előírásainak. A mintaépület fűtési hőszükséglete $16,6\text{ kW}$, a hűtési hőterhelése pedig $22,3\text{ kW}$.

Mind a fan-coil készülékeket, mind a folyadékűtőt egy gyártótól lett kiválasztva, az összehasonlíthatóság miatt. Összesen 14 db fan-coil készülékre és fűtésnél további 12 db radiátorra volt szükség az energialeadó oldalon. Mindkét rendszer esetében a hűtési hőfoklépcső $7/12\text{ }^\circ\text{C}$ -os, a fűtési pedig $45/40\text{ }^\circ\text{C}$. Mivel a katalógus teljesítmény adatai nem ezekre az értékekre voltak megadva, ezért át kellett számolni az alábbi összefüggéssel:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \cdot \frac{t_e - t_v}{t_{e,0} - t_{v,0}} \cdot \frac{\ln \frac{t_{i,0} - t_{e,0}}{t_{i,0} - t_{v,0}}}{\ln \frac{t_i - t_e}{t_i - t_v}} \quad (1)$$

ahol:

- \dot{Q} – a hőtéljesítmény;
 t_i – a helyiség hőmérséklete;
 t_e – a az előremenő közeg hőmérséklete;
 t_v – a visszatérő közeg hőmérséklete;
 0 – indexel jelölt értékek a katalógus adatait, míg a nem tartalmazó értékek a tervezett rendszer adatait jelentik.

Az érezhető hűtőtéljesítményre és a legalacsonyabb fokozatra lettek a készülékek kiválasztva a zajtechnikai szempontok alapján. Viszont, ahogy várható volt a fűtési teljesítmény szempontjából túlméretezés következett be. Ez a kétcsőves rendszernél 67 %, a négycsőves rendszernél pedig 75 %-os volt. Az előzetesen választott 70/60 °C fűtési hőfokok helyett 45/40 °C választása esetén ez az érték 25 % illetve 27 %-ra sikerült csökkenteni.

A kétféle energialeadó hidraulikai ellenállásában is különbségek voltak. Míg hűtési oldalon nincsenek különbségek (legfeljebb az eltérő gyártmányok miatt), addig fűtésnél közel sem. A kétcsőves megoldásnál a fűtési ellenállás nagyobb volt, mint a négycsővesnél. Ez nyilván a kisebb hőcserélő miatt jelentkezett.

A fan-coil készülékek hidraulikai ellenállása sokszorosa a radiátorokénak. Ezt is figyelembe kellett venni a fan-coilok kiválasztásánál. Azaz a tervezési fokozaton minél kisebb hidraulikai ellenállás elérése volt a cél. Figyelembe veendő probléma az, hogy fan-coil-okat újabban dinamikus szabályozókkal látják el, míg a radiátorokat statikussal. Ezek a jellemzők a hidraulikai szabályozást és szabályozást is kihívás elé állítja.

A szükséges fojtásokat Heimeier termosztatikus szelepekkel oldottuk meg a radiátoroknál, míg a fan-coil készülékeknél TA-Compact-P típusú PIBVC szeleppel.

5. ÖSSZEHASONLÍTÁS KOMFORT SZEMPONTOK ALAPJÁN

Az ember életének döntő részét tölti zárt térben. Kutatásokban megállapították, hogy a zárt térben tartózkodók közérzete sok tényezőtől függ. Az ember hőérzetére legkönnyebben a megfelelő *levegő hőmérséklettel* tudunk hatni. Mivel a klimatizált épületek különböző égtáj felé néző helyiségeiben a hőterhelés erősen változó, ezért előfordulhat, hogy átmeneti időszakokban a déli fekvésű szobákban hűteni, az északi oldalon pedig fűteni kell.

Ez a két csőves rendszernél okozhat gondot. Ennél a problémát, a víz elosztó rendszer zónázásával orvosolhatjuk és, ilyenkor lehetőségünk van arra, hogy egyes zónákban a téli-nyári átkapcsolást egymástól függetlenül megvalósítsuk, de egy zónán belül csak hűteni vagy fűteni lehet. Bizonyos számú zóna esetén már a beruházás szempontjából is jobb lehet a négycsőves megoldás, mely minden fan-coilnál lehetőséget ad átmeneti időben a fűtés/hűtés közötti váltásra. Az ilyen módú felhasználásra a magasabb komfortfokozatú épületeknél lehet szükség.

Mivel a fan-coil-okat igényesebb helyiségekben alkalmazzák, ezért meghatározó szerepe van a kibocsátott *zajszintnek* is. A felhasználók számára a hőmérséklet után leginkább a nem megfelelő zajszint okozhat nagyon kellemetlen diszkomfortot. Így a kiválasztás során fontos ellenőrizni az adott helyiségre a szabvány (MSZ 18151) által előírt maximális zajszintnek

megfelel-e a fan-coil berendezésünk. A gyakorlatban viszont célszerű lehet megvizsgálni, ha lehetőségünk van rá, hogy az adott település alapzajszintje hogyan viszonyul az előírásokhoz. Nagyobb városokban előfordulhat ugyanis, hogy a városi alapzajszint magasabb, mint a megengedett érték.

A komfort szempontjából fontos megemlíteni még a *huzathatást*, ami olyan légmozgás, amelynek az emberre nézve kellemetlen a hatása. Jellemzően ventilátoros légáramlásnál lehet probléma. Meghatározása:

$$DR = (34 - t_{a,l}) \cdot (v_{a,l} - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_{a,l} \cdot Tu + 3,14)$$

ahol:

$t_{a,l}$ – a léghőmérséklet;
 $v_{a,l}$ – a helység hőmérséklete;
 Tu – a az előremenő közeg hőmérséklete;

Hűtésnél 26 °C-os léghőmérsékletet, 40%-os turbulenciafokot feltételezve (10-60% közötti érték, ha nem ismert akkor 40%-kal vehető figyelembe, a légsebesség értéke pedig 0,7 m/s. Ezek alapján a huzathatás értéke 19,9 %, amely megfelel az MSZ CR 1752 „B” komfortkategóriás irodáinak.

Mindkét mintarendszerénél a huzathatás illetve a zajszint közel megegyezik.

6. ÖSSZEHASONLÍTÁS ENERGIAIGÉNYEK ALAPJÁN

Az összehasonlítás során azonos külső körülményeket feltételeztünk. Az épület hőveszteség tényezője 637,15 W/K. A fűtési hőfokhíd értéke 67.460 hK, a fűtési napok száma pedig 194 nap. Az épület fűtési energiaigénye így 154,76 GJ. Ezt a hőenergiát kondenzációs gázkazánnal állítjuk elő, melynek hatásfoka 108%, (az új számításnál 97,3%). Ezzel mindkét esetben a 4174 [m³] gáz elégetésével tudjuk fedezni.

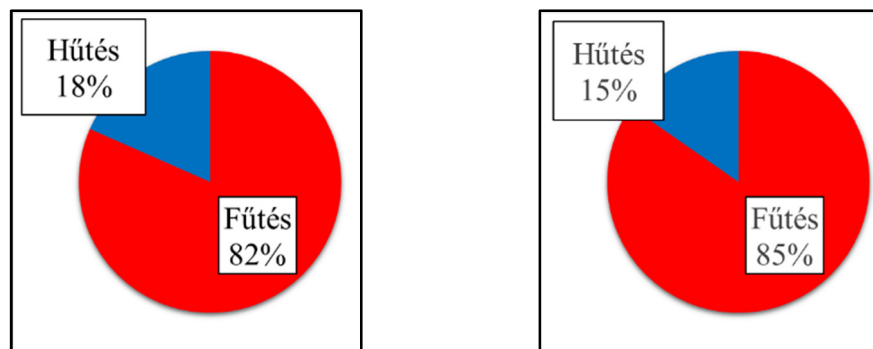
A fűtési rendszer többi elemének van elektromos segédenergiaigénye. A fan-coilok folyamatos működését feltételezve a fűtési idényben, és figyelembe véve, hogy egy készülék elektromos teljesítmény igénye 24 W, (a kazáné 80 W) a fűtési idényben további 1937 kWh elektromos munkaigényünk jelentkezik.

A hűtési energiaigényeknél feltételeztük, hogy az év során összesen 120 napot üzemel a hűtési rendszer. Egy munkanap időtartamát (7:00-17:00) felvéve a hűtési idény 1200 h. Ezen időszak alatt a fan-coilok folyamatosan üzemelnek. A folyadékűtő és a szekunder szivattyú ennél kevesebbet megy. A folyadékűtő működését egy órában 30 percre vettem fel, ami a kapcsolási pontok közötti intervallum fele. Természetesen ez elég tág határok között változhat, a pillanatnyi igények esetén. Így a folyadékűtő illetve a primer kör szivattyúja 600 munkaórát van igénybe véve.

Ezeket figyelembe véve a kétsöves rendszer elektromos munkaigénye a hűtési szezonban 9,348 MWh, míg a négycsövesnél 7,339 MWh.

Összefoglalva a két rendszer energiaigénye közel azonos, egy tételt leszámítva. Ez a tétel az, hogy a kétsöves rendszer alkalmazása esetén nagyobb folyadékűtőt kellett választani. A különbségek erre vezethetők vissza.

Érdekes megvizsgálni még a hűtési és fűtési energiaigény arányát a rendszer teljes igényéhez képest. A teljes rendszer energiaigényében még mindig a fűtési energiaigény a domináns, függetlenül attól, hogy a rendszer két vagy négycsöves. Ezt mutatja be a 3. ábra.



3. ábra A két és négycsöves rendszer energiaigény megoszlása

7. ÖSSZEHASONLÍTÁS GAZDASÁGOSSÁG ALAPJÁN

Két féle költséget számoltunk. Az egyik a megtervezett rendszer beruházási költsége a másik az energiaigény alapján számolt üzemeltetési költség.

A kétcsöves fűtési-hűtési rendszer teljes beruházási költsége 9,717 millió forint volt, míg a négycsövesé 11,682 millió forint. A különbségnek két oka volt. Az egyik a fogyasztói hálózat többletköltsége. A négycsöves rendszer nevéből adódóan több szerelvénnel és csővel készül. Viszont maga a négycsöves fan-coil berendezések is majd 1 millió forinttal többbe kerültek, mint a kétcsöves változatok. A négycsöves rendszer többletköltség igényét valamelyest mérsékelte az, hogy a kétcsöves rendszernél viszont nagyobb folyadékűtőt kellett alkalmazni.

Az üzemeltetési költségeknél a cikk írásakor érvényben lévő árakat (gázra 3,10 Ft/MJ, míg az áramra 37,76 Ft/kWh) vettük figyelembe. Így a kétcsöves rendszer üzemeltetési költsége 870,314 ezer forint, míg a négycsövesé 794,475 ezer forint.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmányban áttekintettük a fan-coil rendszerek tervezési szakirodalmát. Megvizsgáltuk a kiválasztás egyik fontos kérdését, majd megterveztünk egy két- és egy négycsöves fan-coil rendszert egy mintaépületben. A tervezési eredmények segítségével következtetéseket vontunk le.

9. FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] **KESZY-HARMATH Z. - VÁRJON D.:** *Klímate tervezés*, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1974, ISBN: 963-10-0581-X
- [2] **ZÖLD A.:** *Épületgépészet 2000, I. kötet: Alapismeretek*, Budapest: Épületgépészet Kiadó Kft, 2000 ISBN: 963 03 97102
- [3] **VINKLER K.:** *Kézben tartott áramlás* ISBN: 978-615-5193-13-6, Budapest, PI Innovációs kft.
- [4] **LAKOS A.:** *Klimaberendezések üzemeltetése és karbantartása*, ISBN: 963 10 3809 2, Budapest, Műszaki könyvkiadó, 1981.
- [5] **VÁRJON D.:** *Gazdaságos lég-és hűtőtechnikai berendezések*, ISBN: 963 10 6255 4, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [6] **KALMÁR F.:** *An indoor environment evaluation by gender and age using an advanced personalized ventilation system*, Building Services Engineering Research and Technology - (2017)
- [7] **KALMÁR F.:** *Fűtési rendszerek üzemeltetése és diagnosztikája / Épülettechnikai rendszerek diagnosztikája és üzemeltetése*

FORMÁZOTT NANOSZERKEZETŰ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE DEVELOPMENT OF FORMATTED NANOSTRUCTURED CATALYSTS

SIKORA Emőke¹, PREKOB Ádám², VANYOREK László³

¹hallgató, emokesikora@gmail.com

¹Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

²hallgató, prekob.a@gmail.com

²Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

³adjunktus, vanyorekl@gmail.com

³Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A kutatómunka során szén nanocsöveket állítottunk elő acetilénből széntartalmú vegyületek gőzfázisú katalitikus bontásával (CCVD). Ezek felhasználásával hidrogénező katalizátorokat készítettünk, majd összehasonlítottuk a katalitikus aktivitásukat oktadec-1-én hidrogénezési reakciójában. A kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a legnagyobb mértékű katalitikus aktivitást az 5 m/m%-os Pd/MWCNT valamint a szintén 5 m/m%-os Rh/MWCNT katalizátorok eredményezték. Kutatásunk következő szakaszában az ipari igényeket szem előtt tartva egy jól kezelhető, könnyen elválasztható katalizátor kifejlesztésére törekedtünk, ezért palládiumtartalmú kalcium-alginát-BCNT gyöngy katalizátorokat állítottunk elő. A gömb alakú katalizátorokat butén hidrogénezésével teszteltük, mely reakcióban kitűnően teljesítettek.

Kulcsszavak: szén nanocsövek, katalizátor, BCNT, hidrogénezés

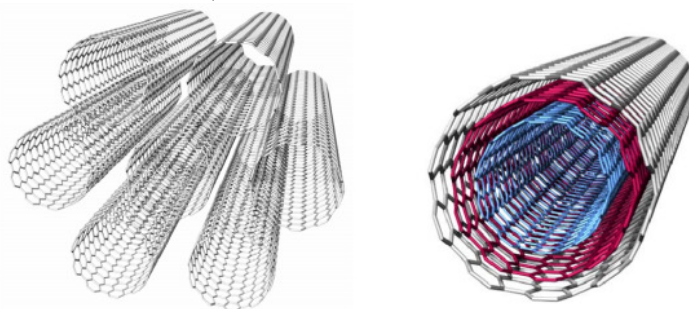
Abstract: Carbon nanotubes were prepared from acetylene by catalytic chemical vapor deposition method (CCVD). The synthesized carbon nanotubes were used to prepare catalysts. The catalytic activity of the catalyst samples were examined in the hydrogenation of octadec-1-ene. The best results were obtained by Pd/MWCNTs and Rh/MWCNT. Then bamboo like carbon nanotubes (BCNTs) were synthesized from butylamine and used to prepare 5 wt% Pd-content calcium alginate BCNT sphere catalysts. The formatted catalysts were examined in the hydrogenation of butene.

Keywords: carbon nanotubes, catalyst, BCNT, hydrogenation

1. BEVEZETÉS

A szén nanocsöveket úgy képzelhetjük el, mint egy grafitcsík felcsavarásával létrehozott tökéletes hengert, ugyanis akárcsak a grafit esetében, a szén atomok itt is hatszögeket alkotva kapcsolódnak egymáshoz. A csövek végei általában egy fullerén szerkezetű, úgynevezett sapkával zárulnak le. Szerkezetük szerint két csoportra oszthatjuk a nanocsöveket (1. ábra):

- egyfalú szén nanocsövek (single-walled carbon nanotubes: SWCNT)
- és többfalú szén nanocsövek (multi-walled carbon nanotubes: MWCNT)



1. ábra. Egy- és többfalú nanocsövek szerkezete [1]

A szén nanocsövek azonban különleges megjelenési formában is előfordulhatnak, mint például az úgynevezett bambusz szerkezetű szén nanocsövek (bamboo like carbon nanotube: BCNT). Szerkezete (2. ábra) annyiban tér el az eddigiektől, hogy a csövet hosszanti irányban görbült grafitsíkok által felosztott szakaszok alkotják [2].



2. ábra. Bambusz szerkezetű nanocső [3]

A szén nanocsövek különleges elektronszerkezetükből és tulajdonságaikból adódóan jó katalizátorhordozóknak mutatkoznak. Előnyeik például, hogy oxidációs eljárásokkal funkciós csoportok alakíthatók ki felületükön, melyek segítségével megköthetők katalitikusan aktív fémek ionjai. Nem rendelkeznek mikropórusokkal, így nagyobb sebességgel történik meg a katalízis, és ellenállóbbak az oxidációval szemben, mint az eddig népszerű katalizátorhordozó az aktív szén.

A nanocső hordozós katalizátorok esetén lényeges, hogy a katalitikus aktivitásért felelős fém milyen mértékben képes kötődni a CNT hordozóhoz. Ha heteroatom (pl. nitrogén, bór, foszfor vagy kén) épül a nanocsövek szerkezetébe, megváltozik a csövek elektroneloszlása, amely az idegen elemek széntől különböző mértékű elektronegativitásának köszönhető. Ezek beépítésével - más néven dópolással - létrehozhatók bambusz szerkezetű nanocsövek, melyek szerkezetükből adódóan számos rácshibát tartalmaznak, amelyek nagyenergiájú adszorpciós helyet jelentenek a katalitikusan aktív fém ionjai számára.

2. CÉLKITŰZÉS

A kutatómunka célja olyan nagy katalitikus aktivitással rendelkező nanoszerkezetű katalizátorok előállítása és vizsgálata, melyek jól alkalmazhatóak ipari folyamatokban.

A munka első részében a többfalú szén nanocsövek katalizátorhordozóként történő alkalmasságát vizsgáltuk. Első lépésként a többfalú szén nanocsövek előállítását, majd a termék tisztítását végeztük el. Az előállított és tisztított többfalú szén nanocsövek felületén nemesfém nanorészecskéket (Pd, Rh, Ru, Ir) alakítottunk ki. Az előállított szén nanocsőhordozós katalizátorokat, egy háromfázisú katalitikus hidrogénezési reakcióban teszteltük, mellyel az volt a célunk, hogy megvizsgáljuk, milyen gyorsan lehet a vegyületet a katalizátor segítségével terméké alakítani.

Az előállított katalizátorok egy része jól teljesített a tesztek során, azonban az ipari felhasználhatóságot szem előtt tartva meg kellett oldani a könnyen kezelhetőséget, visszanyerhetőséget, melyet az eddig előállított katalizátorok nagy diszperzitásfoka, valamint nagymértékű diszpergálhatósága nem tett lehetővé. Ebből kifolyólag elkezdtünk előállítani kalcium-alginát-nanocső gél gömböket, amelyeket karbonizáltunk, és mint katalizátor hordozót használtunk fel. Ezek előállításához nem az eddig használt többfalú nanocsöveket alkalmaztuk, hanem ennek egy különleges típusát, a nitrogén dópolt bambusz szerkezetű nanocsöveket. A formázott katalizátorokat butén hidrogénezési reakciójában teszteltük, mellyel azt vizsgáltuk, mennyi idő alatt aktiválódik a katalizátor.

3. KÍSÉRLETI RÉSZ

3.1. Szén nanocsövek szintézise

A szén nanocsövek szintéziséhez - az erre a célra leggyakrabban alkalmazott - CCVD módszert használtuk. Az MWCNT esetében acetilén, BCNT esetén butil-amin szolgált szénforrásként a szintézis során, inert közegnek, valamint vivőgáznak nitrogént alkalmaztunk.

A szintézist MgO hordozós, BCNT esetén 5 m/m% nikkel, MWCNT esetén 2,5 m/m% Fe és 2,5m/m% Co tartalmú katalizátor segítségével hajtottuk végre. Az MWCNT szintézisét még a kutatás elején egy kisebb méretű reaktorban végeztük el. Ekkor szintézisenként 0,5 g katalizátort használtunk fel, a szintézist 700 °C-os hőmérsékleten végeztük. A vivőgázunk áramlási sebessége 50 ml/perc, az acetilén beadagolási sebessége 40 ml/perc volt. A szintézis 20 percen keresztül zajlott.

A kutatás folytatásában beszerzésre és összeállításra került egy nagyobb méretű, magasabb kitermelést biztosító reaktor így a BCNT előállítását már ezzel végeztük. Itt a katalizátorokból szintézisenként 2 g-ot használtunk fel. A nanocsövek szintézisét 650 °C-os hőmérsékleten végeztük 10 percen keresztül. A vivőgáz áramlási sebessége 100 ml/perc, a butil-amin beadagolási sebessége 16,2 ml/perc volt. Az eljárást a szükséges mennyiség előállításának érdekében többször megismételtük.

A szintézis során a katalizátor fémes-, valamint oxidformává alakul át, így az előállított szén nanocsövek szennyezőket is tartalmaznak. Ezeket tömény sósavval történő feltárással távolítottuk el. Hat órán keresztül forraltuk állandó kevertetés mellett. Vákuumszűrő segítségével szűrtük, desztillált vízzel mostuk, ezt követően szárítószekrényben egy éjszakán át szárítottuk. A tisztítás hatékonyságát termogravimetriai (TG) vizsgálattal ellenőriztük.

3.2. BCNT oxidálása

A bambusz szerkezetű nanocsövek oxidálását tömény kénsav és salétromsav (3:1) arányú elegyével végeztük abból a célból, hogy oxigén tartalmú funkciós csoportokat (-COOH, és -OH) hozzunk létre a csövek falán a hidrofil felület kialakítása érdekében. Az elegyet 6 órán keresztül kevertettük, majd a felesleges savak eltávolítását desztillált vizes mosással, és centrifuga segítségével végeztük. A mosást ötször ismételtük meg, a centrifugálás során 4500/perces fordulatszámot végeztük a fázisok elválasztását.

3.3. Kalcium-alginát-BCNT gömbök előállítása

A BCNT alapú gél gyöngyök létrehozásához [5] két elegyet használtunk fel. Az egyik elegyet 100 ml desztillált víz, 1g Na-alginát és 1g oxidált BCNT alkotta, a másik elegy 200 ml desztillált vizet, és 6g CaCl₂-ot tartalmazott. Az alginát nagyon nehezen homogenizálható, ezért a szuszpendáltatáshoz Hielscher homogenizátort alkalmaztunk. Ezt követően a nanocsövet tartalmazó elegyet fecskendővel felszívtuk, majd infúziós pumpa és műanyag cső segítségével 170 ml/h sebességgel a kalcium-kloridos elegybe csöpögtettük. Ennek során cseppek méretével megegyező gömbök keletkeztek, mivel a Ca²⁺ ionok a Na⁺ ionok helyére léptek, és gél állagú kalcium-alginát-nanocső golyókat hoztak létre. A folyamat után a maradék oldatot leöntöttük a gyöngyökről, majd háromszor desztillált vízzel átmostuk őket. Az átmosott golyókat szárítószekrénybe helyeztük és 70 °C-on 48 órán keresztül szárítottuk. Az alginát-szén nanocső gömböket inert atmoszférában 800 °C hőmérsékleten karbonizáltuk.

3.4. A nemesfém tartalmú hidrogénező katalizátorok előállítása

Négy féle katalizátort készítettünk a kutatás első felében: Ir/MWCNT, Pd/MWCNT, Rh/MWCNT, Ru/MWCNT. Mindegyik katalizátor 5 m/m% nemesfémeket tartalmazott az MWCNT-hordozón. 0,95 g MWCNT-ből kiindulva a szükséges nemesfém vegyületek tömegei a következők voltak: 0,1147g Ammónium-hexakloroiridát (IV) $[(\text{NH}_4)_2\text{IrCl}_6]$, 0,1055g Palládium (II)-acetát $[\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Pd}]$, 0,1074g Ródium (II)-acetát dimer $[(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2\text{Rh}]_2$ és 0,1074g Ruténium (III)-klorid $[\text{RuCl}_3]$.

A katalizátor készítés folyamata: bekevertünk 0,95g MWCNT-t 150 ml alkohol (patosolv) elegyben, majd feloldottunk Pd-acetátot 10 cm³ etanolban. A két elegyet ultrahangos homogenizálás közben összeöntöttük, és további 10 percig homogenizáltuk. Az így elkészített szuszpenziót vákuumbepárlón szárazra pároltuk, majd szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk. Ezt követően hőkezeltük (kalcináltuk) a nanocső hordozós katalizátort. Először 400 °C -on és 20 percen keresztül nitrogén atmoszférában, majd a nitrogén közeget hidrogén gázra váltva, további 30 percen át redukáltuk. E folyamat következtében a Pd-ionok Pd nanorészecskékké alakultak át. Ugyanezt a folyamatot végeztük el minden nemesfém esetében, csak a fémvegyületek mennyiségét változtattuk a már felsoroltak alapján.

A kutatás folytatásában a BCNT felhasználásával készült karbonizált nanocső tartalmú gömbök felületére palládium klorokomplexet vittünk fel. Kimértünk 0,475g karbonizált BCNT gyöngyöt, majd hozzáadtunk 50 ml desztillált vizet. Eközben 0,0431g PdCl₂-ot 5 ml desztillált vízben és 1 ml HCl-ban feloldottuk melegítés közben. Összeöntés után 10 percig állni hagytuk, majd vákuumbepárlóban szárazra pároltuk. A folyamat után egy éjszakán át szárítószekrényben 105 °C-on szárítottuk. Az aktiválást hidrogénes redukcióval végeztük 400 °C-on, amelyet inert atmoszférában elvégzett hőkezelés előzött meg. A folyamat végére a BCNT gömbök felületén katalitikusan aktív Pd nanorészecskék keletkeztek.

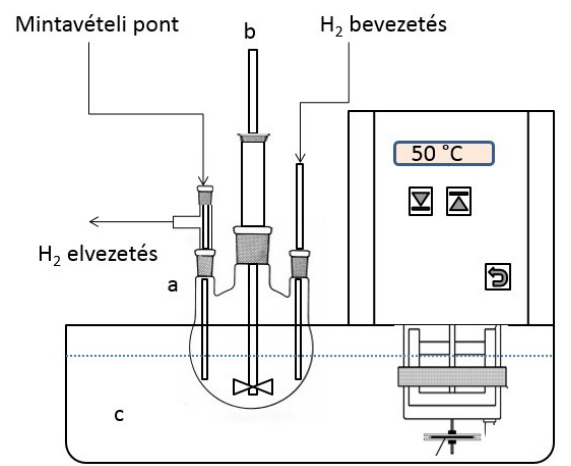
3.5. Katalizátorok tesztelése hidrogénezési reakcióban

Az MWCNT alapú katalizátorok tesztelését oktadecén hidrogénezési reakciójában végeztük. A tesztelés célja, hogy megvizsgáljuk, milyen gyorsan lehet az előállított katalizátorok segítségével átalakítani a vegyületet terméké. A folyamat során használt berendezés a 3. ábrán látható. A hidrogénezéshez n-oktanol használtunk oldószerként. Az oktanol magas forráspontja, mellet azért is jól használható folyékony halmazállapotú olefinek (alkének) hidrogénezésére, mivel a C=C kettőskötés vegyértékrezgéséhez rendelhető abszorpciós sáv jól elkülönül minden más sávtól.

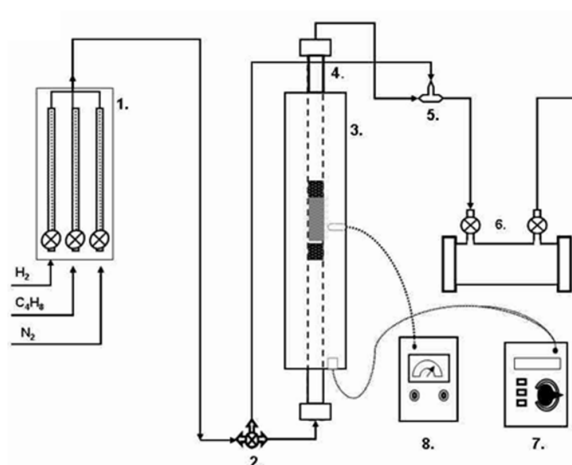
Elkészítettük az oktadecén $c_n=0,2625$ mol/dm³ koncentrációjú oldatát. Az oktadecén tartalmú oldatból 50 ml-t főzőpohárba mértünk, amely előzőleg 30 mg nanocső hordozós katalizátort tettünk. Az elegyet ultrahangos fürdőben 10 percen keresztül szuszpendáltattuk, majd a szuszpenziót a hidrogénező reaktorba öntöttük. A rendszer hőmérsékletét 50 °C-ra állítottuk, termosztát segítségével, állandó kevertetés mellett. A hőmérséklet ellenőrzését követően vakmintát vettünk, és felvettük az infravörös spektrumát. Ezt tekintettük a kiindulási állapotnak, ebből határoztuk meg az oktadecén kezdeti koncentrációját. Ezt követően a hidrogénáramlás megindítása után meghatározott időközönként mintát vettünk. Valamennyi minta infravörös spektrumát KBr ablakkal ellátott folyadékcellával vettük fel. Az oktadecén átalakulását a C=C kettőskötés vegyértékrezgéséhez tartozó abszorpciós sáv területének vizsgálatával követtük nyomon.

A BCNT golyó katalizátorok tesztelését butén hidrogénezési reakciójában végeztük el. A vizsgálat célja, hogy megvizsgáljuk, mennyi idő alatt aktiválódik a katalizátor a gáz fázisú hidrogénezés során. A folyamathoz használt berendezés vázlata a 4. ábrán látható. A

gázfázisú hidrogénezést csökemencébe helyezett kvarccsőben végeztük, 50 °C-on. A gázok elvezetése egy gázküvetán keresztül történt, amely lehetővé tette a hidrogénezési folyamat IR spektroszkópiával történő követését. Első lépésként a tesztelt BCNT gyöngykatalizátorból kimértünk 0,1422 g-ot, majd ezt a kvarccsőbe helyeztük két üveggyapot réteg közé. Ezután elindítottuk a rendszer fűtését. A meghatározott arányú, $8,16 \cdot 10^{-3}$ mol/dm³ butén tartalmú nitrogén/hidrogén gázelegy spektrumát tekintettük kiindulási állapotnak, mivel ekkor a gázok magát a reaktorteret, azaz a katalizátort kikerülték. A szelep átfordításával átáramoltattuk a gázelegyet a katalizátor ágyon, és innen számítva 10 percen át percenként felvettük a gázelegy IR színeképét. Valamennyi minta infravörös spektrumát KBr ablakkal ellátott gázcellával vettük fel. A butén átalakulását a C=C kettőskötés vegyértékrezgéséhez tartozó abszorpciós sáv területének integrálásával követtük nyomon.



3. ábra. A folyadék fázisú hidrogénezéshez használt berendezés: a) Hidrogénező lombik b) Keverőmű, c) Termosztát



4. ábra. A gázfázisú hidrogénezéshez használt berendezés vázlata: 1) áramlásmérő 2) szelep 3) csőreaktor 4) kvarccső 5) szelep 6) gázcella 7) hőfok szabályzó 8) hőmérő

4. EREDMÉNYEK

4.1. Szén nanocsövek tisztaságának ellenőrzése termogravimetriával

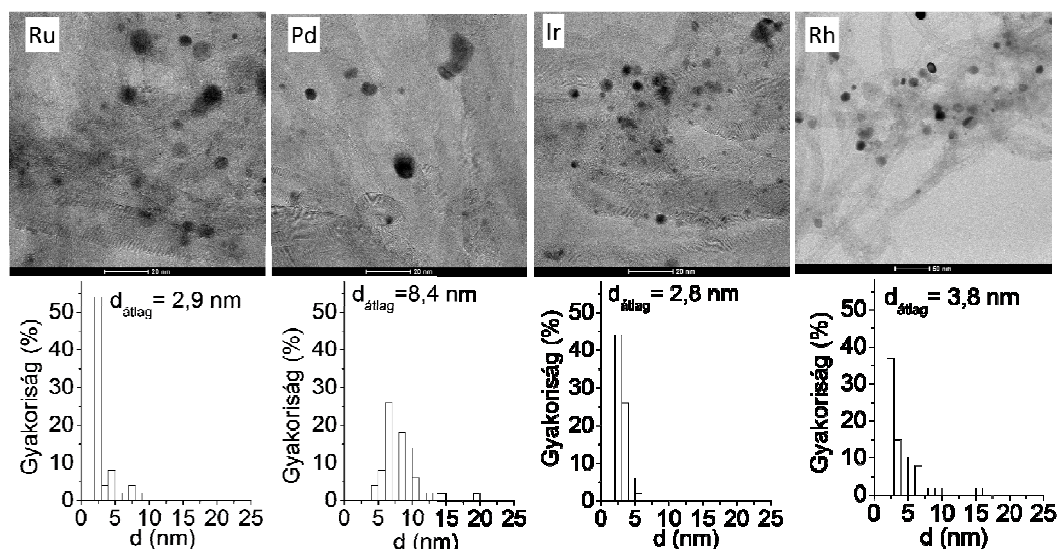
Az MWCNT és BCNT minták tisztaságát termogravimetriai vizsgálatokkal állapítottuk meg. A méréseket kerámia tégelyben alumínium-oxidot használva referenciaanyagként, levegő atmoszférában végeztük. A bemért minta tömege MWCNT esetén 35,4 mg, BCNT estén 37,52 mg volt. A felfűtési sebesség 5 °C/min, a maximális felfűtési hőmérséklet 900 °C volt. A levegőáramlás sebessége 5 liter/óra volt. A mérés során MOM Derivatograph C típusú készüléket használtunk. A TG görbék kiértékelését a differenciál termogravimetriai görbe segítségével, MOM WinderC programmal végeztük.

Az MWCNT minta izzítási vesztesége 95,37 m/m % lett. Ezt korrigáltuk még a minta nedvességtartalmával, ami 3,08 m/m% volt. Így a vizsgált minta széntartalma, azaz tisztasága 92,29 m/m%-nak adódott.

A BCNT mintánk esetében a minta izzítási vesztesége 94,4 m/m% lett, de akárcsak az előző esetben, figyelembe kellett venni a nedvességtartalmat, ami itt 2,1 m/m%-nak adódott. Így a BCNT minta tényleges tisztasága, vagyis széntartalma 92,3 m/m%-os volt.

4.2. Az MWCNT hordozós katalizátorok részecskeméretének vizsgálata nagyfelbontású elektronmikroszkópos módszerrel

A minta előkészítése során a katalizátormintát desztillált vízben felfuszpendáltuk, majd felcseppentéssel történt a minta felvitele a rézrostélyra. A szén nanocsövek felületén található nanorészecskék méretének meghatározását Image J képelemző program segítségével pixelarányok alapján végeztük el. A méreteloszlás-függvényét Origin 8.6 program segítségével készítettük el. A HRTEM felvételek és a segítségével elkészített méreteloszlási diagramok a 5. ábrán láthatóak.

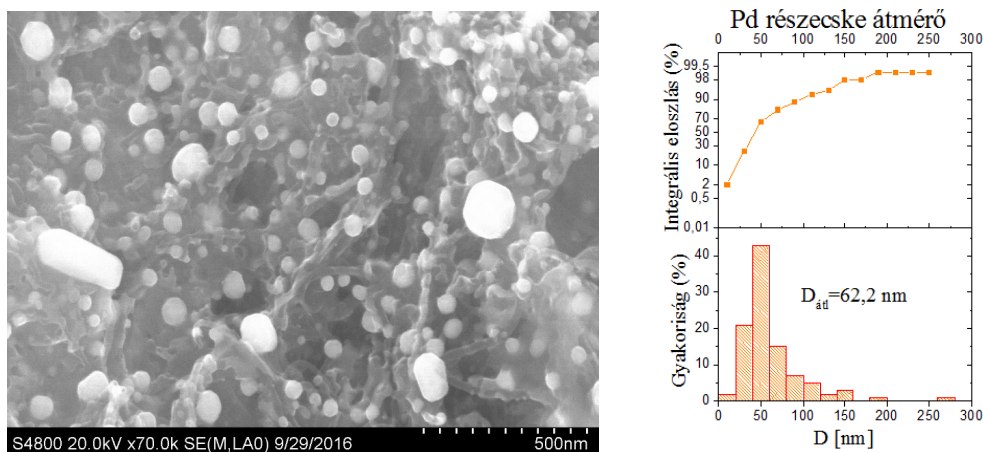


5. ábra. Az MWCNT katalizátorokról készült TEM felvételek és a hozzájuk tartozó méreteloszlások

4.3. A BCNT gömbhordozós katalizátorok részecskeméretének SEM vizsgálata

A pásztázó elektronmikroszkópiával (SEM) készített képek alapján vizsgáltuk a kalcium-alginát-BCNT felületén lévő palládium részecskék átmérőit, amit akárcsak a HRTEM esetében, Image J képelemző program segítségével pixelarányok alapján végeztük és Origin Lab program segítségével ábrázoltuk.

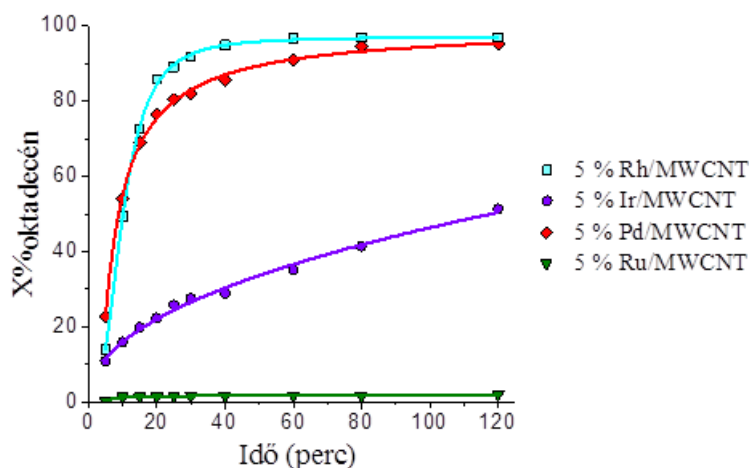
A Pd részecskék felvitele után készült felvételek egyike látható a 6. ábrán. Ebből megállapítottuk, hogy a palládium részecskék 70 %-a 50 nm-nél kisebb átmérővel rendelkezett. Akadtak azonban ennél jóval nagyobb, akár 280 nm átmérőjű részecskék is. Az átlagos Pd-részecske átmérő 62,2 nm-nek adódott.



6. ábra. A katalizátorról készült SEM felvétel és a Pd részecskeátmérő eloszlási diagramja

4.4. Az MWCNT hordozós katalizátorok katalitikus aktivitásának vizsgálata

Az oktanol-oktadecén elegy IR spektrumán a kettőskötések telítődésének folyamata jól követhető a $\nu_{\text{C}=\text{C}} = 1610\text{-}1690 \text{ cm}^{-1}$ hullámszám tartományban található vegyértékrezgés sávjának eltűnésével.

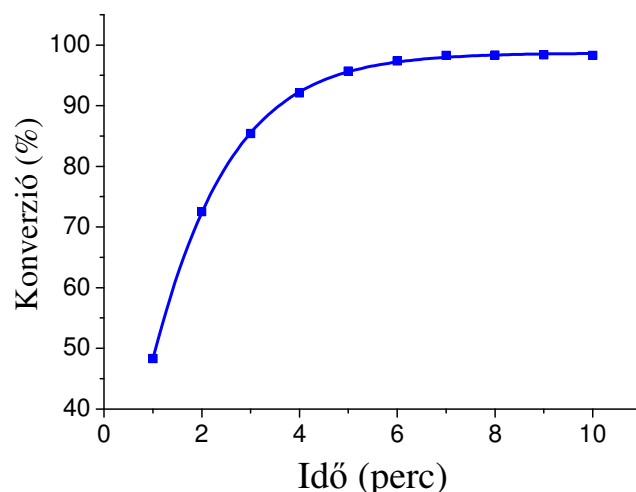


7. ábra. Oktadec-1-én hidrogénezési eredményei a négyféle katalizátort vizsgálva

Az oktadec-1-én hidrogénezése során a négyféle katalizátor közül, a ródium- valamint a palládiumtartalmú MWCNT hordozós katalizátor bizonyult a leghatékonyabbnak (7. ábra). A ruténiumtartalmú minta esetében, az ábrán is jól látható, hogy az 50°C -on történő hidrogénezési reakcióban nem mutatott katalitikus aktivitást. Az irídiumtartalmú katalizátor aktivitása pedig alul maradt a ródium-, valamint palládiumtartalmú katalizátorok aktivitásával szemben.

4.5. A Pd/BCNT gyöngy katalizátor aktiválódásának időfüggése

A butén kettőskötéseinek telítődési folyamatát is a $\nu_{\text{C}=\text{C}} = 1610\text{-}1690 \text{ cm}^{-1}$ hullámszám tartományban található vegyértékrezgés sávjának csökkenésével követtük.



8. ábra. Butén hidrogénezési eredménye

A 8. ábrán a butén konverziója látható a hidrogénezés során, melyet az FTIR segítségével felvett IR spektrumokból számoltunk. A Pd tartalmú BCNT katalizátor golyók remekül teljesítettek az 50 °C-on történt gázfázisú hidrogénezési reakcióban. Már 5 perc elteltével több mint 95%-os konverziót mértünk.

5. KOKLÚZIÓ

A kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy az MWCNT alapú katalizátorok közül a legnagyobb mértékű katalitikus aktivitást az 5 m/m%-os Pd/MWCNT valamint a szintén 5 m/m%-os Rh/MWCNT katalizátorok eredményezték. A katalitikus aktivitásbeli jelentős eltérés okára ez elvégzett vizsgálatok eredményei alapján nem tudtunk egyértelmű magyarázatot adni.

Kutatásunk következő szakaszában az ipari igényeket szem előtt tartva olyan katalizátor kifejlesztésére törekedtünk, amely az ipari gyakorlat során jól kezelhető, könnyen elválasztható, ezért kalcium-alginát-BCNT gyöngy katalizátorokat állítottunk elő. A gömb alakú katalizátorok a butén hidrogénezése során kitűnően teljesítettek. A folyamat kezdete után 5 perccel már 98%-os konverziót regisztráltunk.



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA

AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK
TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HASPEL H.:** *Szén nanocső alapú gázszenzorok vizsgálata.* Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem, 2007.
- [2] **VANYOREK L., LAKATOS J.:** *Karbon nano-szorbensek és -katalizátorok előállítása és alkalmazási lehetőségei a környezetvédelmi technológiákban i. bambusz szerkezetű szén nanocsövek szintézise.* Műszaki Földtudományi Közlemények, 2012, 83, 259–270.

- [3] **VANYOREK L.:** *Szén nanoszorbensek és katalizátorok előállítása és alkalmazási lehetőségei a kémiai és a környezetvédelmi technológiákban.* Doktori értekezés, Miskolci Egyetem, 2015.
- [4] **HOUSSEINOU B., CUONG D. V., YUEFENG L., JEAN-MARIO N., PASCAL G., MARC J. L., CUONG P.-H.:** *Nitrogen-doped carbon nanotube spheres as metal-free catalysts for the partial oxidation of H₂S.* Comptes R. C., 2016, 19, 1303-1309.

KAZÁNSZIVATTYÚ SZÜNETMENTES ENERGIAELLÁTÁSÁNAK BIZTOSÍTÁSA NAPELEMEK KÖZBEIKTATÁSÁVAL

PROVIDING UPS FOR A BOILER PUMP USING SOLAR PANELS

SKRIBANEK Ádám¹, BODNÁR István², BLÁGA Csaba³

¹villamosmérnök alapszakos hallgató, skribike@gmail.com

¹Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Miskolci Egyetem

²PhD, egyetemi adjunktus, vegybod@uni-miskolc.hu

²Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Miskolci Egyetem

³PhD, egyetemi docens, elkblaga@uni-miskolc.hu

³Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A publikációban a napenergia-hasznosítás lehetőségeinek rövid ismertetését követően bemutatásra kerülnek a leggyakrabban használt napelem típusok, illetve azok hatásfokai és alkalmazási lehetőségei. A szigetüzemű napelemes rendszerek felépítésének, működésének ismertetése után vizsgáljuk a rendszer szünetmentes energiaellátó rendszerbe történő illesztésének lehetőségeit. Egy ilyen összeállított rendszer bemutatását követően leírásra és magyarázásra kerülnek a különböző terhelések esetében eredményül kapott rendszerhatásfokok, terhelhetőségek, áram, illetve feszültség jelalakok, valamint egyéb mérési eredmények. Bemutatásra kerülnek a rendszer működőképességének és az átkapcsolás jelenségnek vizsgálati eredménye is.

Kulcsszavak: napenergia, napelem, szigetüzem, szünetmentes, átkapcsolás

Abstract: In this publication after a short description of solar energy utilization, the most common used types of solar panels are presented together with their efficiency and possible applications. After describing the construction and operation of off-grid solar systems we examine the possible ways of suiting it into an uninterruptible power supply system. A compiled system is also presented and the system efficiencies, maximum loads, current and voltage waveforms and other measurement results, we got in case of different load levels are described. The examination of operability of the final system and the switching itself are shown too.

Keywords: solar energy, solar panel, off-grid, UPS, switching

1.BEVEZETÉS

A napenergia a földi élet energetikai alapját jelenti, mivel a geotermikus energián kívül minden megújuló energiának a Nap a forrása, amelynek magjában lejátszódó magfúziós folyamat szolgáltatja a Nap által kibocsátott, sugárzott energiát. Bár a földi élet szempontjából a legfontosabb a Nap elektromágneses sugárzása (390-1200 nm), ennek csupán kis részét érzékelhetjük közvetlenül hő (800-1200 nm) és fény (390-800 nm) formájában. Az emberiség által leggyakrabban használt, fosszilis energiaforrások mennyiségi korlátját figyelembe véve, a megújuló energiák, mint például a napenergia hasznosításának kérdése igen időszerű témának bizonyul napjainkban.

A napenergia hasznosítása történhet aktív, vagy passzív módon. Passzív napenergia hasznosítás esetén például épületek energetikailag kedvezőbb irányú tájolásáról beszélünk, amivel csökkenthetjük az épület energiaszükségleteit, a napenergia aktív hasznosításához valamilyen eszközre van szükségünk, amellyel felfogjuk, esetleg átalakítjuk a nap energiáját, így környezetbarát módon állíthatunk elő villamos-energiát, vagy közvetlenül hőenergiát, attól függően, hogy napelemet, napkollektort, vagy napkóhót alkalmazunk. Utóbbi két eszköz a Nap energiáját, hőjét gyűjti össze nagyobb hatékonysággal és hőenergiaként továbbítja azt. Leggyakrabban melegvíz előállításra használják őket olyan területeken, ahol napközben hosszú és intenzív a napsütés, de akár fűtés rásegítő szerepet is betölthetnek [1].

2. NAPELEMEK

A nap energiájának villamos-energiává alakításához napelemre van szükségünk, amely egy igen nagyméretű félvezető alapú, fényre érzékeny energia-átalakító eszköz (dióda), amelyben a fény hatására a töltéshordozók szétválnak, így a kivezetései között egyenfeszültséget mérhetünk. Többnyire szilíciumból készülnek, de vannak olyan technológiák is (főleg űrtechnika), amelyek egyéb anyagokat, például Ga-As (gallium-arzenid) használnak. A napelemekből kinyerhető teljesítmény függ többek közt a napsütés intenzitásától, a fény beesési szögétől, a napelem életkorától és a napelem kivezetéseire kapcsolt terheléstől.

2.1. Napelem típusok és hatásfokaik

A szilícium alapú napelemeknek három fő típusa terjedt el, ezek az amorf, mono- és polikristályos napelemek.

Az amorf napelemek rendelkeznek a legalacsonyabb primer hatásfokkal (5-8 %), azonban az ilyen típusúak a legolcsóbbak. Előnyük, hogy nagyon vékony napelem készíthető belőlük, de alacsony hatásfokuk miatt azonos teljesítmény kinyeréséhez nagyobb telepítési felületre van szükség, mint kristályos társaik alkalmazása esetén. További hátrányként jelentkezik a viszonylag rövid élettartalmuk, amely mintegy 15 évre tehető.

A kristályos napelemek egyik fajtája a monokristályos (egykristályos) napelem. Ez a típus rendelkezik a legmagasabb primer hatásfokkal (15-18 %), azonban az előállítási költségük is igen magas a bonyolult technológiai folyamatok miatt. Kiválóan hasznosítják a közvetlen, azaz direkt napsugárzást, amely rájuk merőleges fényt jelent, de kisebb hatásfok érhető el szórt fényenél, ebből adódóan leginkább forróövi direkt napsugárzásnál célszerű alkalmazni, de kitűnő napkövető rendszerek is készíthetők ilyen típusú napelemek felhasználásával. Előnyük a magas hatásfok és az élettartamuk, ami 30 évre tehető. Hátrányuk azonban, hogy nagyon érzékenyek a tájolásra és a dőlésszögre.

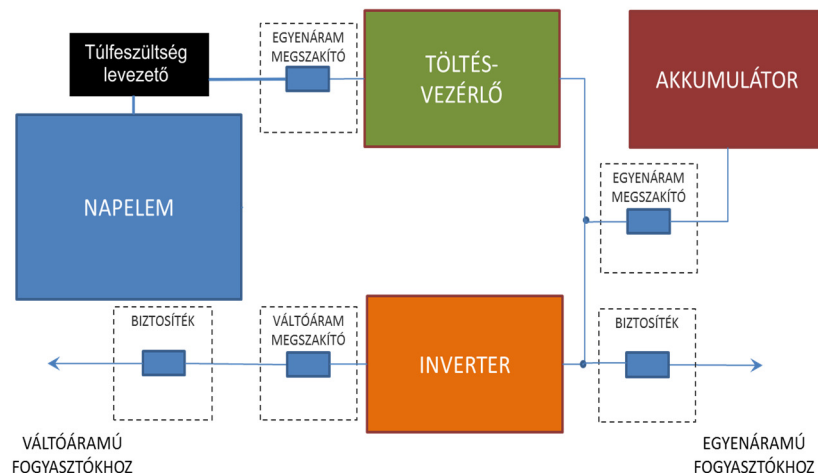
A polikristályos napelemek ára magasabb, mint amorf társaiké, de valamivel olcsóbbak, mint a monokristályosok. Hatásfokuk igen nagy (12-17 %), kiválóan hasznosítják a reggeli és esti órákban jelentkező szórt fényt, azonban a direkt fényt kevésbé. Magyarországon a földrajzi adottságok miatt ez a típusú napelem üzemeltethető a legnagyobb primer hatásfokkal. Előnyük a minimum 30 év élettartam és az átlagosan 25 év gyártói garancia. Kevésbé érzékenyek a tájolásra és a dőlésszögre, mint az egykristályosok, aminek köszönhetően alkalmazásuk igen sokrétű lehet.

2.2. Szigetüzemű napelemes rendszerek

Szigetüzemű napelemes rendszer (angolul: off-grid) esetén a megtermelt villamos-energia teljes egészében helyben kerül felhasználásra, vagy tárolásra, azonban a többlepcsős energiaátalakítás és tárolás következtében, az egyes berendezések hatásfokai miatt eredő hatásfokuk is csökken. Kiválóan alkalmazhatók olyan területeken, ahol a közüzemi villamos hálózat nem került kiépítésre. Ilyen rendszerek esetében fontos szerepe van az energiatároló akkumulátortelepnek, hiszen az energiatermelés ideje általában nem egyezik meg az energiaigény időszakával.

Ahogy az 1. ábrán is látható, a rendszer biztonságos működése érdekében szükség van a napelemek után bekötött túlfeszültség levezetőre, amely egy esetleges villámcsapás esetén megvédi a további berendezéseket. A töltésvezérlő az aktuális villamos-energia termelés, villamos terhelés és az akkumulátor töltöttségi állapotának megfelelően határozza meg az energiaáramlás útját. A rendszer képes egyenáramú fogyasztók ellátására, de egy inverter alkalmazásával a váltakozó áramú fogyasztóink üzemeltetése is megoldott. Természetesen a

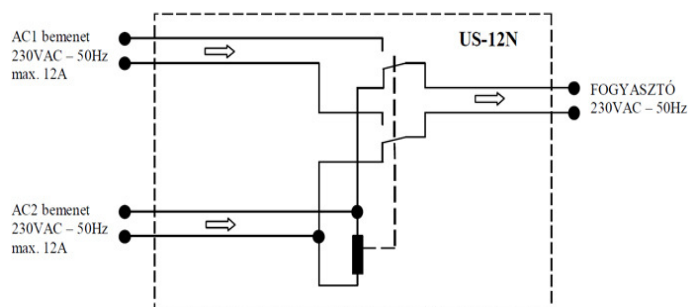
biztonsági szempontokat szem előtt tartva, alkalmazunk biztosítékokat, vagy megszakítót mind egyen, mind váltakozó feszültségű oldalon.



1. ábra. Szigetüzemű napelemes rendszer felépítése

2.3. Szünetmentes hálózat kialakítása

Szünetmentes hálózatok kialakítása napjainkban egyre több helyen nélkülözhetetlen. A hálózat két bemeneti energiaforrással rendelkezik. Elsődleges a közüzemi hálózat, amelyről normál üzemi körülmények esetében a fogyasztók ellátása történik, másodlagos energiaforrásra pedig a közüzemi hálózat kimaradása esetén van szükség. A rendszer kialakításához szükséges egy automata átkapcsoló állomás, amely az üzemzavart érzékeli és képes az energiaforrások közötti automatikus át-, illetve visszakapcsolásra. Fontos, hogy az átkapcsolás minél kevesebb időt vegyen igénybe, a fogyasztók legkisebb zavarása érdekében. A méréseink során US-12N típusú átkapcsoló állomással dolgoztunk (2. ábra).



2. ábra. US-12N mikroprocesszoros átkapcsoló állomás elvi kapcsolási rajza

3. A MÉRÉSI RENDSZER

3.1. A napelemek

A méréseket két CFSR-SP250W típusú, polikristályos napelemmel végeztük, amelyeket párhuzamosan kapcsolva üzemeltettünk (3. ábra). Ez a típusú napelem egyenként maximum 250 W teljesítmény leadására képes, azonban a napelemek által leadott teljesítmény nagyságát

jelentős mértékben befolyásolja a napelemek hőmérsékletfüggése, a napsütés intenzitása, a terhelő ellenállás nagysága, a napelem életkora, a napelemek tájolási-, illetve dőlésszöge és egyéb tényezők, ezért a mérések során figyelemmel kísértük a két napelem adott intenzitás melletti maximális teljesítményét is, MPPT (angolul: Maximum Power Point Tracking), azaz maximális munkapont kereső üzemmóddal rendelkező töltésszabályzó alkalmazása mellett. A napelemek a Miskolci Egyetem C2-es műhelycsarnokának tetőszerkezetén lettek elhelyezve, a hozzájuk csatlakoztatott szolárkábelek le lettek vezetve az épületben elhelyezkedő és a mérési rendszernek helyt adó megújuló energiaforrások laboratóriumába.



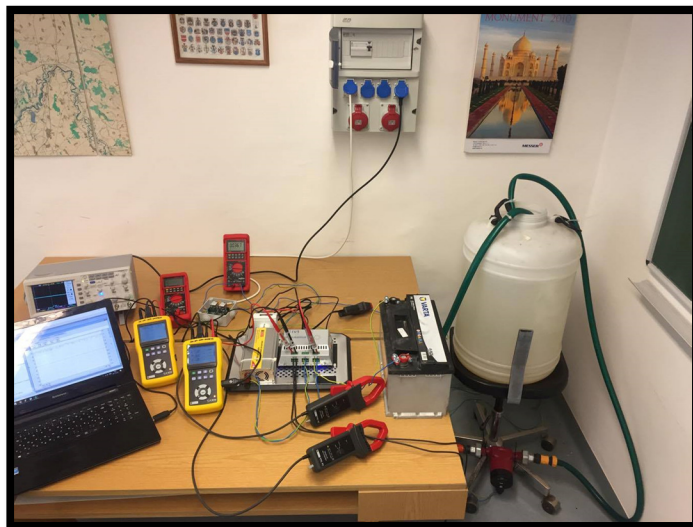
3. ábra. A mérésekhez használt napelemek

3.2. Az összeállított rendszer és a rendszer elemei

A szolárkábelek a töltésszabályzóhoz csatlakoznak, ahogyan az akkumulátortelep és az inverter is. A mérésekhez egy maximálisan 30 A áramú töltésszabályzót használtunk, amelyen keresztül a napelemek egy 90 Ah-s, 12 V-os gépkocsi indító akkumulátort töltöttek, melynek maximális indítóárama 720 A. Az egyenfeszültség váltakozó feszültséggé alakítását egy maximum 1 kW folyamatos teljesítmény leadására képes, négyszög jelalakú inverter biztosította. Az átkapcsolásért a két energiaforrás között egy US-12N automata átkapcsoló állomás volt felelős. Villamos fogyasztóként egy keringető szivattyút alkalmaztunk, amely három teljesítmény fokozaton képes a működésre és egy tartály vizét keringette.

A megfelelő műszerek segítségével, amelyek CAT gyártmányú hálózati elemző műszerek voltak, mértük a napelemek és az akkumulátor feszültség, illetve áram jelalakját, az egyen és váltakozó oldali teljesítményt, külön-külön a napelem és az akkumulátor teljesítményét, az inverter kimeneti feszültségét, az átkapcsoláskor jelentkező feszültségszinteket, valamint a rendszer hatásfokát különböző terhelések esetében. Az összeállított rendszer a 4. ábrán látható.

Az összeállított rendszer működőképesnek bizonyult. Az áramszünet szimulációját a közüzemi hálózat manuális lekapcsolásával valósítottuk meg. A szimulált áramszünet hatására az átkapcsoló állomás rövid időn belül átkapcsolt az alternatív energiaforrásra és a szivattyú energiaellátását azon keresztül biztosította. A közüzemi hálózat visszakapcsolása esetén a visszakapcsolás is zökkenőmentesen, gyorsan lezajlott.



4. ábra. Az összeállított mérési rendszer

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

4.1. A rendszer hatásfokának mérése

A rendszer hatásfokának meghatározásához az akkumulátort leválasztottuk a rendszertől, így a szükséges villamos-energiát a napelemek szolgáltatták. Villamos fogyasztóként a keringető szivattyút csatlakoztattuk a rendszerhez, amelyet különböző fokozatokon járattva mértük a napelemek, illetve a szivattyú teljesítményét. A két teljesítmény arányaként számítható a rendszer eredő hatásfoka. Az eredményeket az 1. táblázatban láthatjuk.

1. Táblázat A napelemes rendszer eredő hatásfoka különböző terhelések esetén

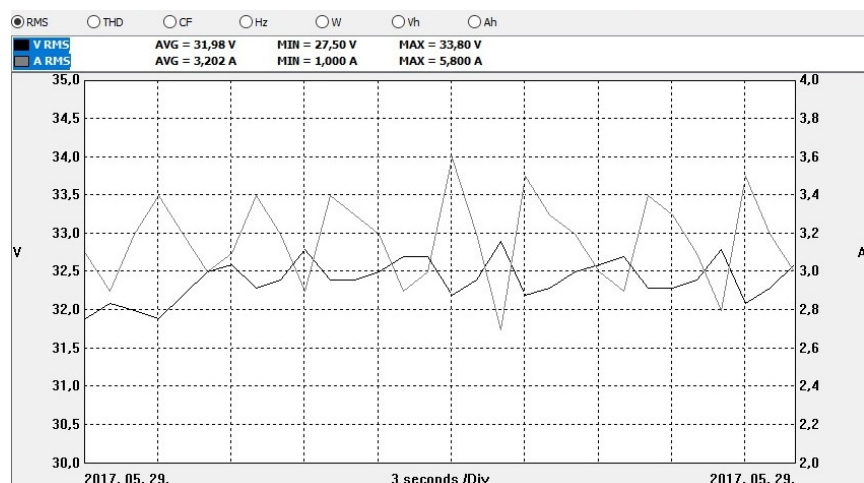
	I. fokozat	II. fokozat	III. fokozat
P_{napelem}	-17,1 W	-34,4 W	-57,5 W
P_{szivattyú}	8 W	23 W	44 W
Hatásfok	46,78%	66,86%	76,50%

Észrevehető, hogy a rendszer hatásfoka a váltakozó oldali teljesítmény növekedésével egyidejűleg növekszik. I. fokozat esetén a kimeneti teljesítmény alacsony értéke nagyságrendekkel elmarad az inverter maximális teljesítményétől, azonban minél nagyobb terheléssel működtetjük a rendszert, annál nagyobb lesz az inverter hatásfoka is. Ez a növekedés mindaddig fennáll, amíg a kimenő teljesítmény el nem éri az inverter maximális teljesítményét.

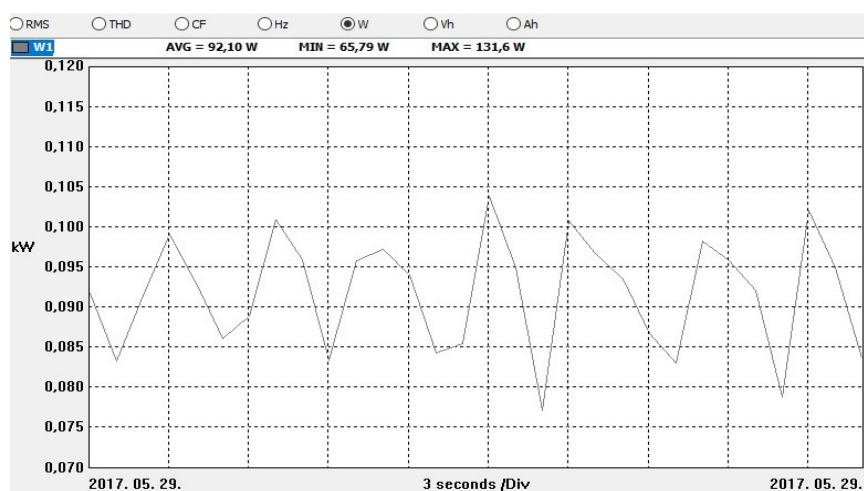
4.2. Feszültség és áram jelalakok

A napelemek kapcsain mérhető feszültség és a napelemek áramának mérésekor az akkumulátortelep csatlakoztatva volt a rendszerhez és a szivattyú III. fokozaton üzemelt.

A mérési eredményeket az 5. ábrán láthatjuk, ahol a sötétebb görbe az áram, a világosabb pedig a feszültség jelalakját mutatja. Megfigyelhető, hogy ahol a napelem árama megnövekszik, ott feszültsége lecsökken, mivel a két érték szorzata adja a napelem teljesítményét.

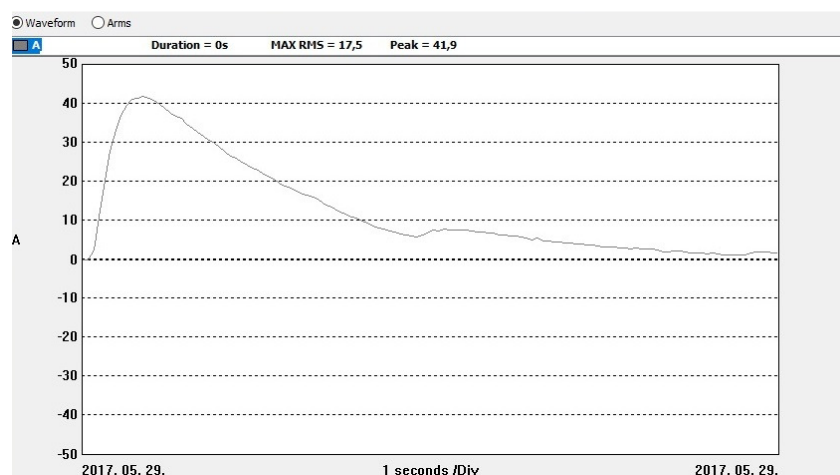


5. ábra. Napelemek árama és feszültsége



6. ábra. Napelemek teljesítménye

A 6. ábrán látható, hogy a napelemek átlagos teljesítménye 92,1 W, ebből 44 W-ot fogyaszt a szivattyú, 12 W az akkumulátort töltésére fordítódott, a maradék pedig veszteség.



7. ábra A szivattyú indítóárama, amelyet az akkumulátor biztosít

A szivattyú indításakor nagy áramot vesz fel, amelyet a napelemek nem képesek számára szolgáltatni, így induláskor az akkumulátor biztosítja a megfelelően nagy indítási áramot, ez figyelhető meg a 7. ábrán. Később a napelemek veszik át a terhelést, terhelhetőségük erejéig.

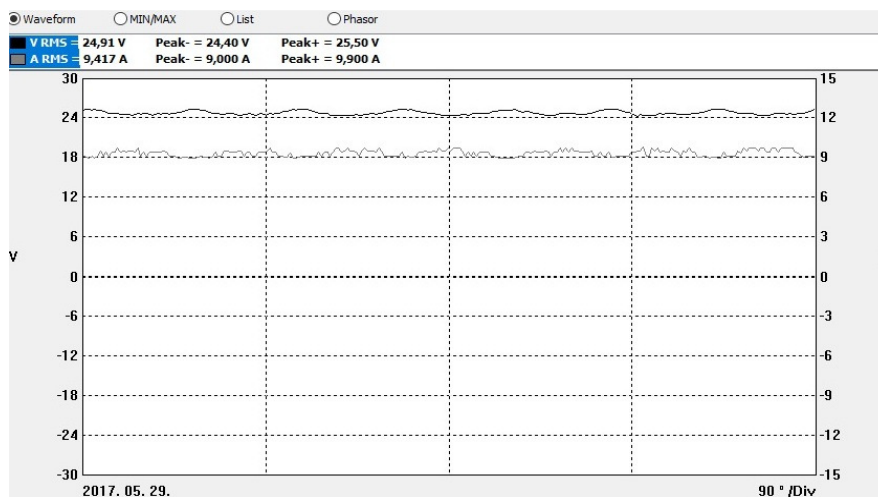
4.3. Napelemek terhelhetősége

A napelemek maximális teljesítményének meghatározásakor villamos fogyasztónak egy fúrot csatlakoztattunk a rendszerhez. A 2. táblázatban olvashatók az adatok.

2. Táblázat Teljesítmények fúró járatása esetén

Terhelés: Fúró (HILTI TE-6S)	
P_{fúró}	308 W
P_{napelem}	-235 W
P_{akkumulátor}	-135 W
P_{összes}	-370 W
Hatásfok	83,24 %

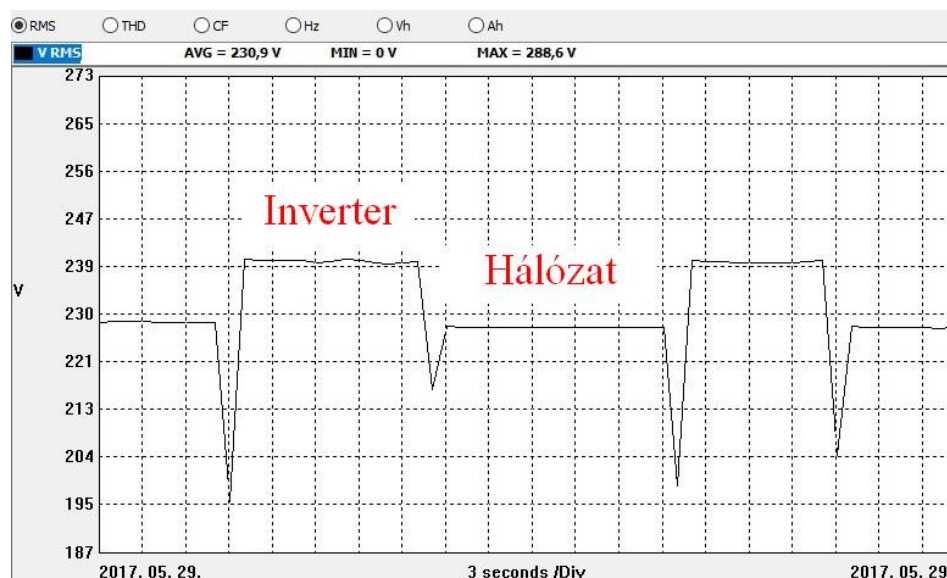
A töltésszabályzó elsődlegesen a napelemek teljesítményét használja fel a szükséges energiaigények kielégítéséhez, ezért a táblázatból kiolvasható, hogy a méréskor fennálló intenzitás mellett a napelemek maximálisan 235 W teljesítmény leadására voltak képesek. A további szükséges energiát az akkumulátor biztosította. A fúró indításakor az akkumulátor áramának pillanatértéke elérte a 113 A-t. A napelemek feszültség és áram jelalakja meglehetősen kisimult, mivel folyamatosan az adott intenzitásnak megfelelő maximális teljesítményüket szolgáltatják, ezt a 8. ábrán figyelhetjük meg.



8. ábra. Napelemek feszültsége és árama fúró üzemeltetése mellett

4.4. Az átkapcsolási jelenség vizsgálata

Az elvégzett mérések szerint a közüzemi hálózaton mérhető feszültség effektív értéke 229,5 V, míg az inverter kimeneti feszültségének effektív értéke 237,4 V. Az átkapcsolási idő kritikus lehet egyes fogyasztók számára, egy szivattyú azonban kevésbé érzékeny az átkapcsolásra. A vizsgálatok azt mutatták, hogy az átkapcsolás alatt a szivattyú által a csövekben keringetett víz nem állt meg, csak az áramlási sebesség csökkent le 2 másodperc időtartamig.



9. ábra. Átkapcsolás az energiaforrások között

A 9. ábrán látható, hogy a két energiaforrás feszültségeinek effektív értékei közötti különbség alkalmassá teszi őket az egymástól való megkülönböztetésre. Az át-, illetve visszakapcsolást többször is elvégeztük, és azt tapasztaltuk, hogy az idejük minden esetben közel azonos. Az ábrán látható első kapcsoláskor egy áramszünetet szimuláltunk, ekkor 2 másodpercig volt szükség ahhoz, hogy a szivattyú feszültsége a hálózati feszültség effektív értékéről az inverter feszültségének effektív értékére növekedjen. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy az átkapcsolás 2 másodpercig tartott, a fogyasztó ennél sokkal kevesebb ideig maradt villamosenergia-ellátás nélkül. A hálózati feszültség visszatérésekor a visszakapcsolási idő közel teljesen azonosnak bizonyult.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az összeállított rendszer az elvártaknak megfelelően működőképesnek bizonyult, azaz képes az áramkimaradás automatikus észlelésére és önálló át-, illetve visszakapcsolásra, így szünetmentes energiaellátó rendszert kialakítva, amelynek alternatív energiaforrásként szigetüzemű napelemes rendszert alkalmaztunk. A rendszer hatásfokváltozásának vizsgálatakor megállapításra került, hogy minél közelebbi a váltakozó oldali teljesítmény az inverter maximális teljesítményéhez, annál magasabb a rendszer hatásfoka. Az átkapcsolás a szivattyú működésében semmilyen problémát nem okozott, így a felépített rendszer biztonságos és hatékony működésre képesnek bizonyult.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VÉGHELY, T.: *Napelemek és napelemrendszerek szerelése*, Budapest, 2013
- [2] VÉGHELY, T.: *Napelemes rendszerek villamos berendezései*, Budapest, 2014

MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ SZOFTVER FEJLESZTÉSE AKUSZTIKUS HULLÁMSEBESSÉGEK MÉRÉSÉRE KÖZETMINTÁKON

DEVELOPMENT OF A NEW MEASURING-DATA ACQUISITION SOFTWARE FOR MEASURING ACOUSTIC WAVE VELOCITIES ON ROCK SAMPLES

SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit

egyetemi adjunktus, tudományos munkatárs, gfmj@uni-miskolc.hu
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, Miskolci Egyetem
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Kivonat: Mivel szeizmikus adatok értelmezésénél jelentős szerepet játszik egy adott nyomásállapotban lévő kőzetmintán mért szeizmikus/akusztikus tulajdonságok extrapolálása, az akusztikus hullámsebesség nyomásfüggésének laboratóriumban történő tanulmányozása fontos információt szolgáltat ahhoz, hogy a szeizmikus méréseket kőzetfizikai paraméterek vonatkozásában tudjuk értelmezni. Tehát a laboratóriumi mérések in-situ jellemzőkkel történő összefüggésbe hozásához és a hullámsebességek nyomásfüggését magyarázó kvantitatív kőzetfizikai modellek értelmezéséhez pontos mérési (főként P és S hullámsebesség) adatok szükségesek. A cikkben LabVIEW fejlesztői környezetben fejlesztett, longitudinális és transzverzális hullámsebességek kőzetmintákon nyomás alatt történő mérésére alkalmas adatgyűjtő szoftvert mutatok be. A mért adatok kiértékelésére geofizikai inverziós eljárás szolgált. A MATLAB-ban fejlesztett inverziós algoritmusnak a mérő-adatgyűjtő LabVIEW programba történő integrálása egy komplex szoftvert eredményezett.

Kulcsszavak: akusztikus hullámsebességek, LabVIEW szoftver, kőzetminta, nyomás

Abstract: Since extrapolation of seismic/acoustic properties measured on rock samples at a given pressure state plays a significant role at interpretation of seismic data, the study of the pressure dependence of acoustic wave velocities in laboratory provides important information to interpret seismic measurements in relation to petrophysical parameters. For this purpose accurate measurement data (especially P and S wave velocity) are required to associate laboratory measurements with in-situ characteristics and to interpret quantitative petrophysical models explaining the pressure dependence of wave velocities. In this study a new software was introduced developed in LabVIEW to measure longitudinal and transverse wave velocity under pressure on rock samples. Geophysical inversion method was used for data processing. The inversion algorithm was realized in MATLAB which was implemented in the LabVIEW measuring and data acquisition program resulting in a complex software.

Keywords: acoustic wave velocities, LabVIEW software, rock sample, pressure

1. A MÉRÉS CÉLJA

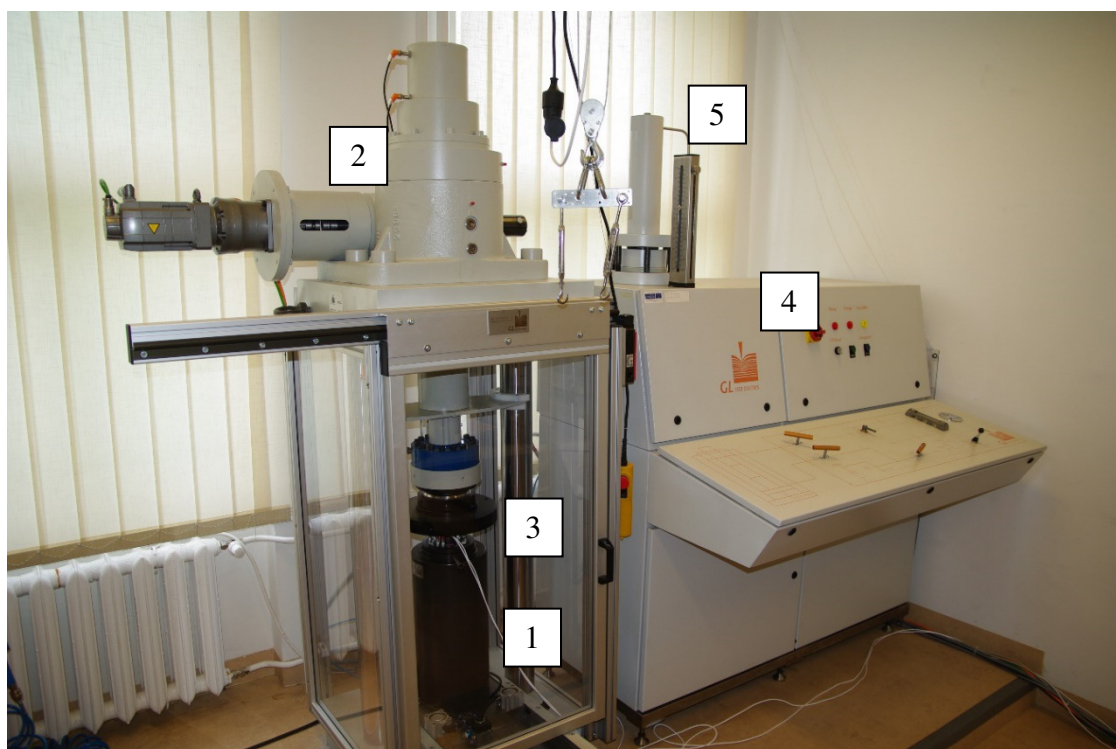
A Föld belső szerkezetéről, fizikai állapotáról főként szeizmikus adatok révén nyerünk információt, hiszen a szeizmikus/akusztikus hullámterjedés jellemzői a kőzetek fontos mechanikai és transzport (pl. az akusztikus sebesség, permeabilitás, vagy fajlagos ellenállás) tulajdonságairól hordoznak információt. A szeizmikus gyakorlat számára igen jelentős kérdés az, hogy a rugalmas hullámok terjedési jellemzőire (leggyakrabban a fázissebességre) hogyan hat a kőzetnyomás. Ha ezt a kapcsolatot ismerjük, akkor lehetőség nyílik a terjedési sebesség és a mélység (amitől a kőzetnyomás elsődlegesen függ) közötti összefüggés becslésére, ami a szeizmikus időszelvény mélység-szelvényre transzformálásához alapvető fontosságú. A kapcsolat megfordításával pedig lehetőség nyílik a kőzetek feszültség állapotának szeizmikus/akusztikus méréseken keresztül történő indirekt meghatározására. A hullámsebességek nyomásfüggését magyarázó kvantitatív kőzetfizikai modellek

értelmezéséhez és a laboratóriumi mérések in-situ jellemzőkkel történő összefüggésbe hozásához pontos mérési (főként longitudinális és transzverzális hullámsebesség) adatok szükségesek.

2. A LABORATÓRIUMI MÉRŐRENDSZER ISMERTETÉSE

Az akusztikus hullámsebességek laboratóriumi mérésére a legelterjedtebb módszer az impulzus átviteli technika [1]. A módszer lényege, hogy az akusztikus mérőegység impulzus generátora feszültség impulzust ad a piezoelektromos adó kristályra, amely akusztikus hullámot indít a közetmintában. Az impulzus generátor a mérőrendszer szinkronizálására (triggerelésére) alkalmas jelet is ad, amely a mérőműszer vezérlésére (indítására) szolgál. A vevő kristály a beérkező akusztikus jelet elektromos impulzussá alakítja, melynek a beérkezési idejét egy szoftverrel detektáljuk. A minta hosszából és a hullám beérkezési idejéből számolható a terjedési sebesség.

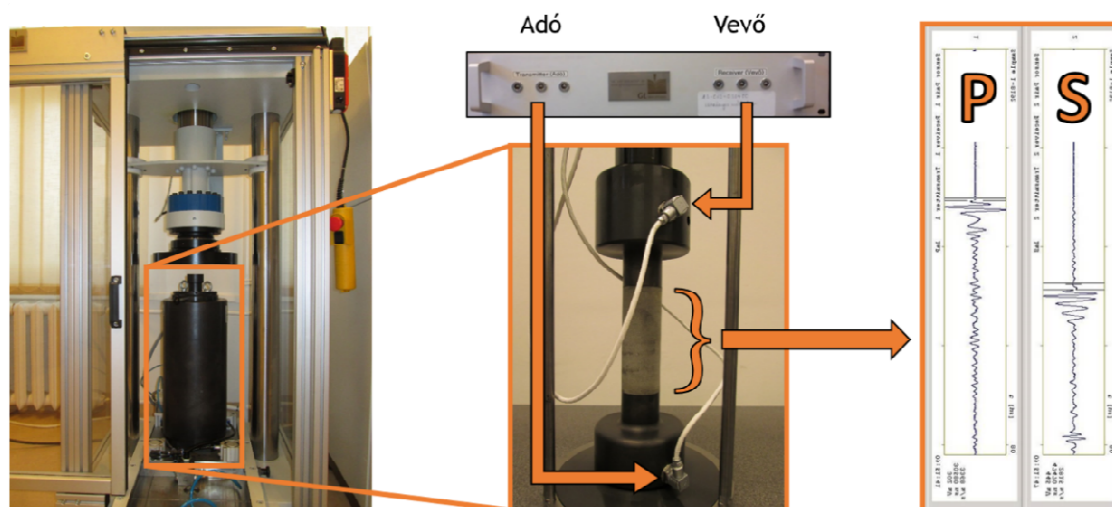
A Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének digitálisan vezérelhető mérőrendszere (1. ábra) tartalmaz egy mérőcellát, egy kétsatornás akusztikus mérőrendszert, egy terhelőkeretet és egy nyomásgenerátort. A 2. ábrán látható mérőrendszerrel nagy pontossággal lehet az alkalmazandó nyomást beállítani [2].



1. ábra. Mérőrendszer: (1) mérőcella; (2) terhelőkeret; (3) nyomólap; (4) nyomás generátor; (5) dugattyú

A rendszer két körből áll, az első az egytengelyű nyomás (Servo1), a második a palásnyomás köre (Servo2). Az egytengelyű nyomásfokozó a terhelést a nyomólap által a mérőcellán keresztül, végső soron az adó és vevő fejekon keresztül adja át a közetmintára. Egy szivattyú segítségével a mérőcellát olajjal lehet feltölteni (a mintát ebben az esetben egy gumihenger zárja el az olajtól), így triaxiális terhelés érhető el ($\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$) [2].

A kétcsatornás akusztikus mérőberendezés lehetővé teszi longitudinális (P) és transzverzális (S) hullámsebességek mérését. A berendezés 2 pár adó-vevőt tartalmaz (2. ábra).



2. ábra. Akusztikus mérőberendezés. Balra: terhelő keret és mérőcella. Középen: akusztikus eszköz, az adó-vevőt tartalmazó mérőfejek között közetminta. Jobbra: P és S hullám beérkezésének megjelenítése.

3. AZ ÚJ AKUSZTIKUS MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ SZOFTVERREL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

A hullámok terjedési sebességét a LabVIEW-ban fejlesztett szoftver az egyszerű út-idő összefüggéssel számolja, ezért mérés előtt a szoftvernek be kell kérnie a vizsgált közetminta hosszát. Azonban a sebesség helyes számításához meg kell mérni az akusztikus hullám, kizárólag a mérőfejekben való terjedésének idejét. A két mérőfej összetolásával leolvashatóak az első beérkezésekhez tartozó idők, az ún. „t dead”-ek.

A mérések során a jel/zaj viszony növelése érdekében 256-szoros összegzést alkalmaztam, amely 256 egymást követő mérés futó átlagolását jelenti. Ezzel a módszerrel lényegesen csökkenthetőek a megjelenített hullámképben a külső zajok amplitúdói, és ennek következtében az első beérkezések pontosan meghatározhatóvá válnak.

A szoftverben a valós idejű hullámkép megjelenítése után, az első beérkezések manuális kijelölését követően, az egyes nyomásértékek mellett mért nyomás-sebesség adatokat táblázatban célszerű elmenteni. A mérési adatok utólagos kiértékelése miatt fontos a hullámkép (mért idő-feszültség adatok) automatikus mentése is .txt formátumban.

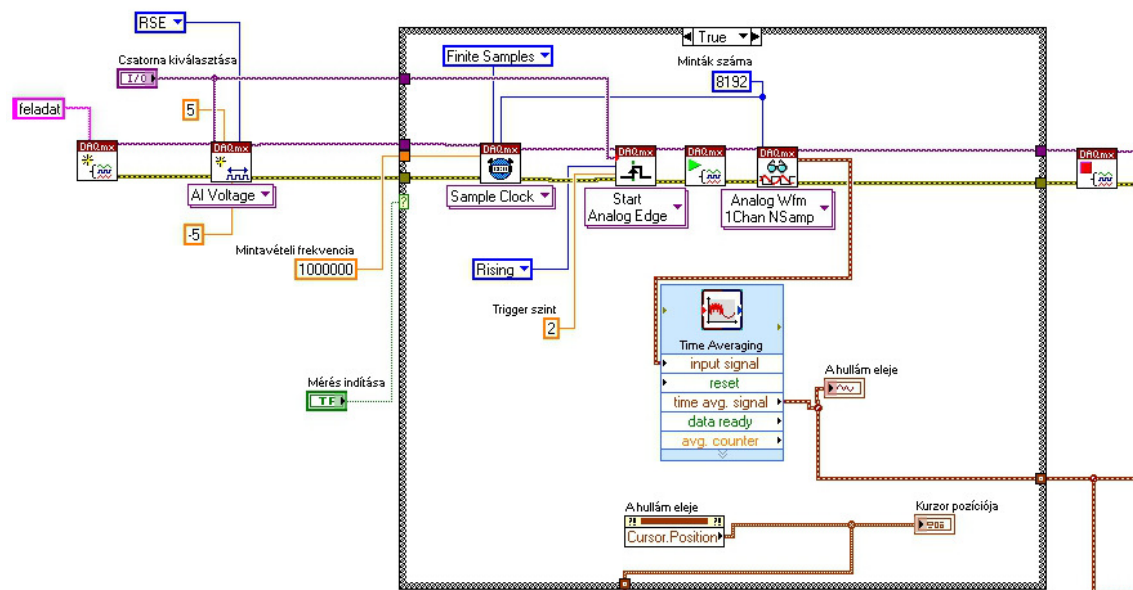
4. A MÉRŐSZOFTVER FEJLESZTÉSÉHEZ ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK

A szoftver fejlesztéséhez National Instruments PCI-6251 típusú mérőkártyát, a hozzá csatlakoztatott National Instruments BNC-2110 típusú adaptert és egy PC-re telepített LabVIEW szoftvert használtam. Mivel a mérőcella ED4-200-RT típusú elektromos átvetéssel rendelkezik, valamint az analóg jeleket BNC csatlakozókön keresztül szerettem volna az adapterre kapcsolni, így LEMO FFA.0S-BNC sodrott, árnyékolt kábelt alkalmaztam a jelátvitelre. A jel erősítésére Tektronix AM 502 típusú differenciál erősítő szolgált.

5. A SZOFTVERFEJLESZTÉS FŐBB LÉPÉSEI

LabVIEW-ban a DAQmx kártyákat legegyszerűbb módon a DAQ_Assistant függvénnyel programozhatjuk fel. Azonban a megvalósítandó feladatnál nem célszerű ezt alkalmazni, mert elképzelhető, hogy a program futása közben változtatni kívánjuk a mérendő csatornákat is, ezért a mérésvezérlő program írásánál elemi függvényeket alkalmaztam.

LabVIEW-ban a jelek mérését egy ún. „task” keretében lehet elvégezni (3. ábra). A „feladat” elnevezésű task keretében az alábbi paramétereket definiáltam: csatornák, időzítések, triggerelés, olvasás.

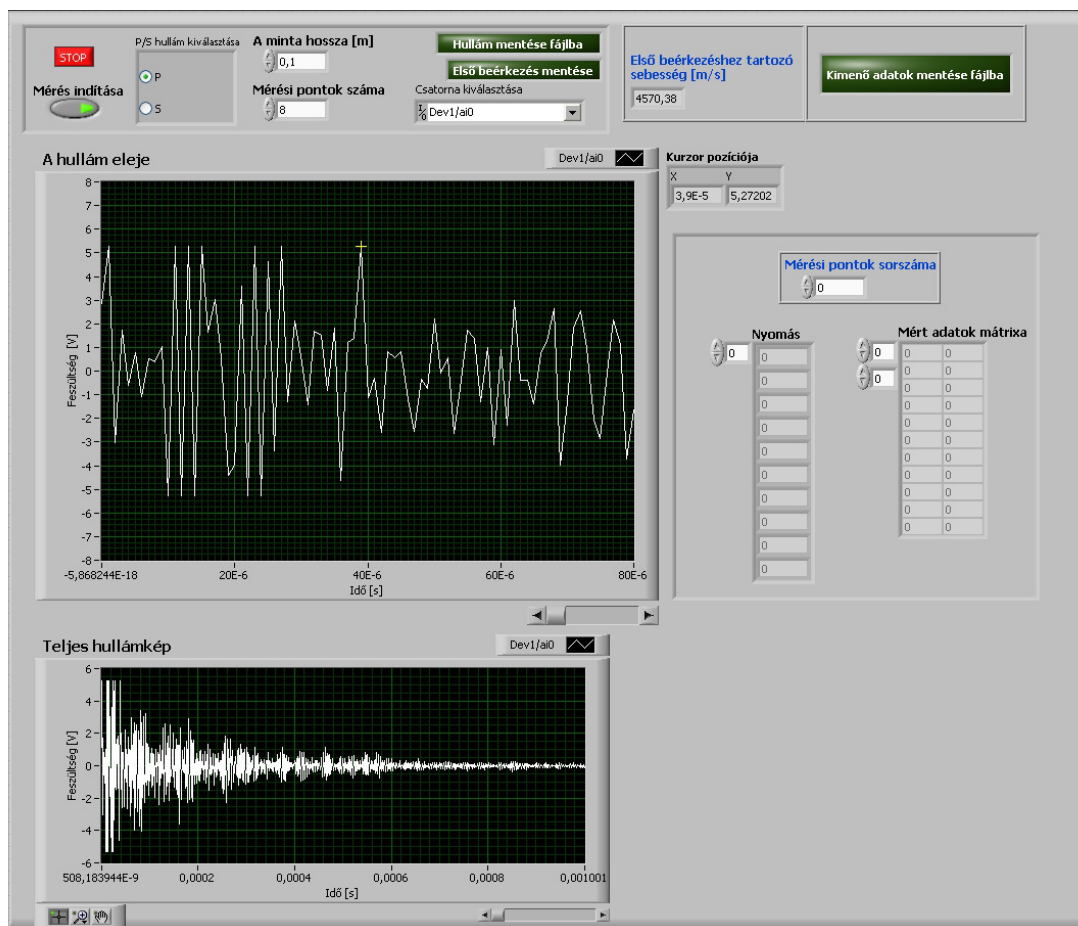


3. ábra. A program magja

Ahogy az a 3. ábrán is látható, először létrehoztam egy csatornát, melyen beállítottam, hogy analóg feszültség jeleket szeretnék detektálni. Az adatgyűjtő konkrét fizikai csatornáját a front panel-en létrehozott legördülő menüből lehet kiválasztani (az AI0-ás csatornát használtam). A mérési tartománynál ± 5 V-ot, míg az Input terminal configuration-nél közös földpontú mérést (referenced single ended - RSE) állítottam be egy konstans segítségével. RSE módban a jelet az AIGND ponthoz képest mérjük az AI0 bemeneten. A mérést egy „Mérés indítása” című gombbal lehet elindítani. A fizikai csatornáról vett minták időzítését AI Sample Clock-al lehet beállítani, melyhez 1 MHz mintavételi frekvenciát és véges mintavételezést (finite samples) állítottam be 8192 mintaszámmal. A mintavételezés indítására az AI Start Trigger Signal függvényt alkalmaztam, azaz triggerelő jel indítja a mintavételezést. A triggerelési módok közül az élvezéreltet választottam (felfutó) és a trigger szintet 2-nek állítottam be. Tehát a mintavételezés akkor indul, ha az AI0-ás fizikai csatornán érkező analóg jel eléri a 2 V-ot. Az analóg jel kiolvasását a Start függvény után a DAQmx Read-el tehetjük meg. A kiolvasás függvénye alatt található mezőben lehet beállítani, hogy analóg egycsatornás mérés feszültség értékeit (8192 darabot) kívánjuk kiolvasni. Az értékeket jelalak formátumban olvastattam ki, mert ilyenkor az időtengely adatait is automatikusan megkapjuk a mintavételezés időzítési adataiból, így azonnal megjeleníthetővé válik a hullámkép. (A megfelelő jelszint elérése érdekében 50 dB erősítést alkalmaztam.)

A kiolvasott jelet az átlagolás után könnyedén meg lehet jeleníteni egy waveform graph-al. Mivel a kijelölendő első beérkezés a minta hosszától függően, várhatóan a detektált jel első negyedében fog megjelenni, ezért két gráfot hoztam létre: „A hullám eleje” elnevezésű

mutatja értelemszerűen az első negyedét, míg az egész jelet a „Teljes hullámképen” láthatjuk (4. ábra).



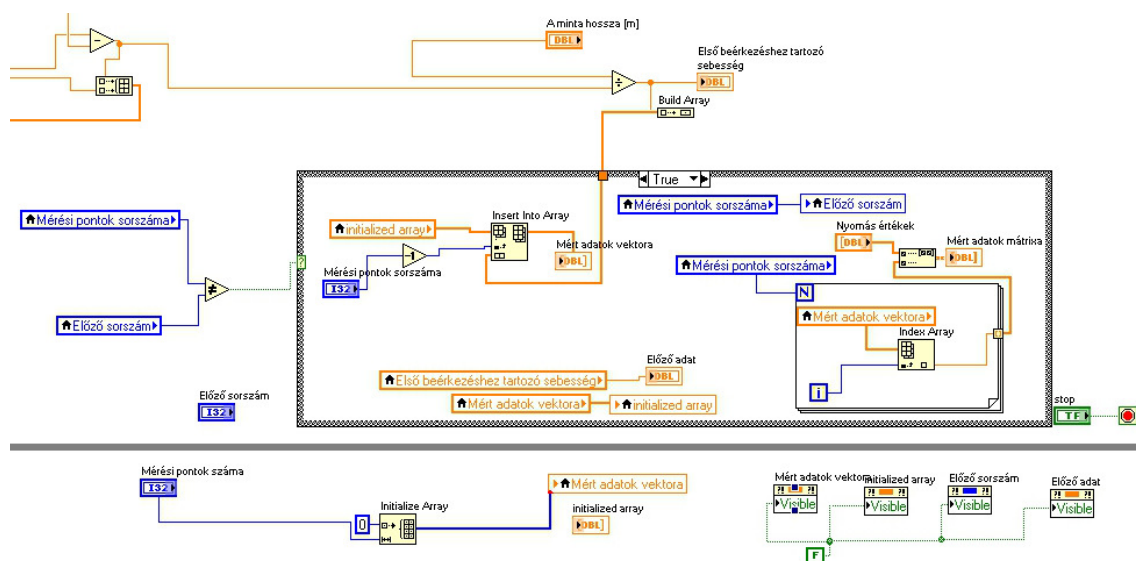
4. ábra. A szoftver kezelőfelülete

A jel aktuális értékét kurzor hozzáadásával kaphatjuk meg, melyet sárga keresztt mutat a 4. ábrán. A hullámon könnyedén kijelölt első beérkezéshez tartozó X-Y koordináta a „Kurzor pozíciója” elnevezésű indikátorban látható. A programmal alapvetően terjedési sebességet szeretnék mérni, amely az első beérkezéshez tartozó időből, valamint a front panelen bekért „minta hosszából” könnyedén kiszámolható („első beérkezéshez tartozó sebességgént” jelölve a 4. ábrán). A korábban már említett „t dead” időket viszont figyelembe kell venni, de mivel ezek P és S hullámnál különböző értékek, elhelyeztem a panelen egy rádiógombot (mellyel kiválasztható, hogy éppen milyen hullámot mérünk).

A 4. ábrán látható „Első beérkezés mentése” gomb megnyomása után elmenthetjük a kijelölt első beérkezéshez tartozó feszültség-idő értéket. Az esetleges utólagos adatfeldolgozás miatt (például első beérkezés módosítása) fontos a teljes jel fájlba történő mentése is, melyet a LabVIEW beépített Write to measurement file függvényével könnyedén megtehetünk a „Hullám mentés fájlba” gomb megnyomás után (4. ábra). Mivel a szeizmikus adatok feldolgozására elterjedt Reflex programmal .txt fájlt könnyen beolvashatunk, ezért ezt a fájlt is .txt-ben célszerű lementeni.

A sebesség adatok gyűjtéséhez, létrehoztam egy segédvektort, melyet az insert into array függvény tölt fel (5. ábra), melynek segítségével a „Mért adatok vektorát” fel lehet majd tölteni az egyes nyomásértékeken mért első beérkezéshez tartozó sebesség adatokkal. Az egyes sebesség értékek helyét (sorindexét) a vektorban a „Mérési pontok sorszáma”

elnevezésű kontrol jelöli ki. Ahogy léptetjük a sorszámot, a függvény segítségével beillesztjük a sebesség értéket a megfelelő sorba.



5. ábra. A mérési adatok gyűjtésének programrészlete

Egy, az 5. ábrán is látható case struktúra biztosítja, hogy a léptetés programrészlete többször is lefusson. A case bemenete egy feltétel vizsgálat, ezért létrehoztam az „Előző sorszáma” segédváltozót, amelynek alapértéke nulla (ahogy a „Mérési pontok sorszáma” is). Vagyis csak az első léptetésnél teljesül az egyenlőtlenség, ezáltal az első adat - az insert into array-nél elvégzett 1-el történő sorszáma csökkentés miatt (5. ábra) - az első sorba szűrődik be (melynek indexét a LabVIEW nullával jelöli). Az „Első beérkezéshez tartozó sebesség” érték is változik a mérés során, melyet újra és újra be kell juttatni a fent említett case struktúrába. Ennek a megoldására hoztam létre az „Előző adat” segédvektort.

Mivel a szoftver a léptetésnél az aktuális sorindexű sor feletti összes sorba beírta az új értéket, ezért szükség volt egy for ciklusra is, melynek lefutásainak száma megegyezik a mérési pontok sorszámaival. A ciklusban az index array a „Mért adatok vektorából” kiveszi a futóindexnek megfelelő sebesség értéket. A for ciklus kimenete tehát egy új vektor lesz, amely már tartalmazza az összes mért sebességet (5. ábra).

Az 4. ábrán látható kezelőfelületen láthatunk még egy „Nyomás értékek” elnevezésű oszlopvektort is, melyet a felhasználó tud kitölteni. A „mért adatok mátrixának” első oszlopa fogja tartalmazni ezen értékeket, második oszlopa pedig a for ciklus kimenete által adott összes mért sebességet. Ez a mátrix szolgáltatja a későbbiekben az inverziós MATLAB program bemenő adatait. A mátrixot a „Kimenő adatok mentése” gomb megnyomásával .txt formátumban el tudjuk menteni. Természetesen a program a stop gomb megnyomásával áll le (ekkor lép ki a while ciklusból). Az átláthatóbb huzalozás érdekében számos változóból, vektorokból lokális változókat készítettem, valamint az összes segédváltozót/vektort elrejtettem a felhasználó elől.

6. A LABVIEW PROGRAMBA INTEGRÁLT ADATFELDOLGOZÓ MATLAB SZKRIPT

A mért sebesség adatok kiértékelésére geofizikai inverziós módszer szolgál. Korábbi kutatásaim során olyan közetfizikai modelleket [3] fejlesztettem ki, melyek megadják a P és S hullám sebességeket, valamint a közetnyomás közti kapcsolatot, így megteremtik annak a

lehetőségét, hogy a kőzet paramétereinek ismeretében a modellegyenletek segítségével tetszőleges nyomásnál (σ) meg tudjuk határozni a terjedési sebesség értékeit (α : longitudinális, β : transzverzális sebesség). A geofizikai inverzió terminológiájával fogalmazva, ezek az egyenletek a direkt feladat megoldását jelentik. Azonban ezeket a paramétereket nem ismerjük, hanem közvetett módon, a mérési adatok inverziós feldolgozásával határozzuk meg. Az inverziós adatkiértékelő eljárást a mérő-adatgyűjtő szoftverbe MATLAB fejlesztői környezetben írt program formájában implementáltam úgy, hogy modellparaméter vektorként $\vec{m} = (\alpha_0, \Delta\alpha_0, \lambda_v)$ és $\vec{m} = (\beta_0, \Delta\beta_0, \lambda_v)$ vektorokat, míg elméleti összefüggésként (direkt feladat) az alábbi formulákat tekintetem

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha_0 [1 - \exp(-\lambda_v \sigma)] \quad (1)$$

$$\beta = \beta_0 + \Delta\beta_0 [1 - \exp(-\lambda_v \sigma)] \quad (2)$$

ahol:

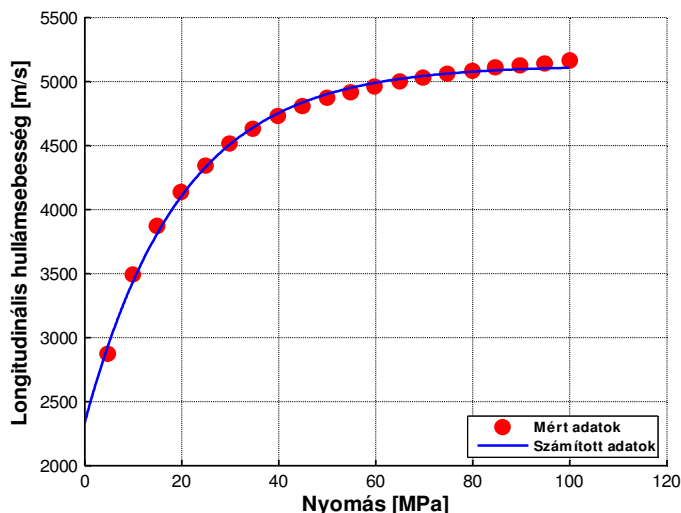
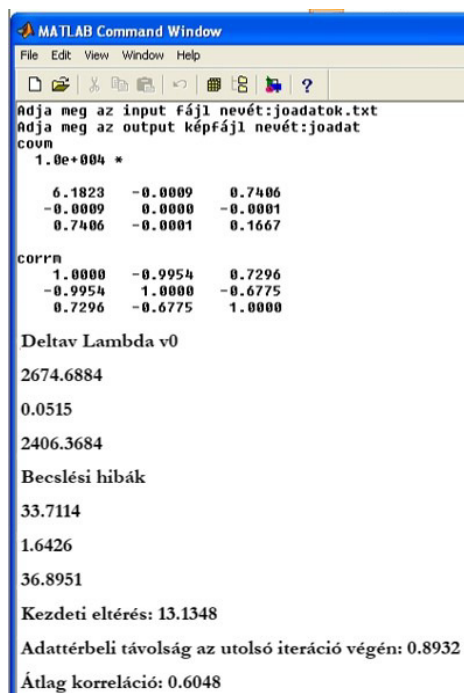
- α_0, β_0 – longitudinális/transzverzális sebesség nyomásmentes állapotban;
- $\Delta\alpha_0, \Delta\beta_0$ – longitudinális/transzverzális sebességesés;
- λ_v – közetfizikai paraméter.

Mivel az inverz probléma jelentősen túlhatározott, azaz a mérési adatok száma sokkal nagyobb, mint a meghatározandó közetfizikai paraméterek száma, a programírás során a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam [4]. Ahogy már említettem, az inverziós program bemenő adatait a mérő-adatgyűjtő szoftver által az egyes nyomásértékek mellett az első beérkezéshez tartozó P/S hullámsebesség-nyomás adatok szolgáltatják. Az adatfeldolgozás kimenő adatai pedig a becsült modellparaméterek, valamint az inverziós eljárás jóságát jellemző mennyiségek (RMS, becslési hibák, átlagkorreláció) [4]. Emellett a szoftver az adatok minél gyorsabb értelmezése miatt a mért és számított adatokat grafikusan is megjeleníti.

7. AZ ÚJ SZOFTVER TESZTELÉSE

A kifejlesztett szoftvert a cikk elején bemutatott triaxiális nyomásfokozó és akusztikus berendezéssel teszteltem. A kőzetmintákon egytengelyű terhelést alkalmazva mértem a longitudinális és transzverzális terjedési sebességeket. A kőzetminták törési szilárdságai ismertek voltak, melyeket a mérések során nem közelítettem meg, hogy újabb repedéseket ne hozzak létre a kőzetmintákban. A mérések során rámpa függvény szerinti felterhelést választottam. A tesztelés során, egy kiválasztott kőzetmintán mért longitudinális sebesség adatokat a nyomás értékekkel együtt a joadatok.txt fájlba mentettem el. Az adatfeldolgozás elvégzéséhez a LabVIEW indításakor automatikusan megnyíló MATLAB Command Window-ban futtattam az inverziós algoritmust. Ezen adatokon végzett minősített inverziós algoritmus futtatásának eredményét a program .txt formátumban automatikusan elmenti. Az inverziós adatfeldolgozás eredményét, valamint a mért és számított sebesség-nyomás értékek grafikus megjelenítését a 6. ábrán láthatjuk.

A mérő-adatgyűjtő szoftver helyes működését, pontosságát a 6. ábrán látható mért adatokra illeszkedő, a szakirodalommal összhangban lévő exponenciális függvény támasztja alá. Egyúttal megállapítható, hogy mivel a mért értékek jó egyezést mutatnak a számított adatokkal, az inverziós MATLAB program megfelelően működik LabVIEW alatt.



6. ábra. Balra: a futtatott inverziós algoritmus eredménye. Jobbra: a LabVIEW-ban mért és inverziós eljárással becsült sebesség-nyomás értékek

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatam a kőzetmintákon P és S hullámsebességek nyomás alatt történő mérését lehetővé tevő LabVIEW-ban fejlesztett szoftvert. A programírás során gondoskodtam a kijelölt első beérkezéshez tartozó feszültség-idő értékek, valamint az esetleges utólagos adatfeldolgozás miatt (például első beérkezés módosítása) a teljes jel fájlba történő mentéséről. A LabVIEW-ban mért sebesség-nyomás adatok mátrixban történő lementése lehetővé teszi az adatok azonnali feldolgozását. A mért sebesség adatok kiértékelése geofizikai inverziós módszerrel történt. A MATLAB fejlesztő környezetben írt inverziós program bemenő adatait az új szoftver segítségével az egyes nyomásértékek mellett az első beérkezésnél mért P/S hullámsebesség-nyomás adatok szolgáltatták. A programírás során a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam. Az adatfeldolgozás kimenő adatai a becsült modellparaméterek, valamint az inverziós eljárás jóságát jellemző mennyiségek. Emellett az adatok minél gyorsabb értelmezése miatt a mért és számított adatokat grafikusán is megjelenítettem. Munkám során sikeresen teszteltem a mérő-adatgyűjtő és az inverziós szoftvereket.

9. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TOKSÖZ, M.N., JOHNSTON, D., TIMUR, A.:** *Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements*, Geophysics, 1979, 44(4), p. 681-690
- [2] **SOMOGYINÉ MOLNÁR, J., KISS, A., DOBRÓKA, M., SZÚCS, I.:** *An automatic test system to measure acoustic velocity data to prove the applicability of the new rock physical model*, Geosciences and Engineering, 2015, 4(6), p. 22-35
- [3] **DOBRÓKA, M., SOMOGYINÉ MOLNÁR, J., KISS, A.:** *Kőzetfeszültségek és hatásuk a hullámterjedés jellemzőire - nyomásfüggő kőzetfizikai modellek*, Milagrossa Kft., Miskolc, 2014
- [4] **DOBRÓKA, M.:** *Bevezetés a geofizikai inverzióba*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2011

TRAKTOR HAJTÁSLÁNC VESZESÉGEINEK VIZSGÁLATA

RESEARCH OF TRACTOR POWERTRAIN LOSSES

SZEGEDI Attila¹, LENGYEL Antal²

¹főiskolai adjunktus, szegedi.attila@nye.hu

Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszék Nyíregyházi Egyetem

²főiskolai tanár, lengyel.antal@nye.hu

Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszék Nyíregyházi Egyetem

Kivonat: A mezőgazdaságban szinte egyeduralkodón dízelmotorokat alkalmaznak az erőgépek hajtására. Jellemző továbbá ezekre a motorokra, hogy a munkavégzés állandó és nagy vonóerő mellett terepen való járással valósul meg, azaz az erőgépeknél a kerék és a talaj közötti kapcsolatban a vonóerő kifejtés a közúti közlekedésnél ismert módtól jelentősen eltérve történik. Kísérleteink során elsőként a kiszerelt dízelmotort vizsgáltuk a Nyíregyházi Egyetem féktermében, majd traktorba beépítve TLT-fékezéssel mértük ugyanazokat a jellemzőket a traktor teljesítményátviteli rendszer hatásfokának meghatározására. Végül szántóföldi vontatási vizsgálatot végeztünk a traktorral, a sebesség vonóerő és a szlip meghatározására és a további vontatási jellemzők elemzéséhez. A vizsgálat célja nemcsak a vontatási teljesítmények és fogyasztási jellemzők rögzítése volt, hanem hogy kerüljön kidolgozásra egy olyan új mérés technikai megoldás is, amely lehetővé teszi a teljesítményátviteli veszteségek közvetett meghatározását, és végső soron a vontatási teljesítmények visszavezetését a traktormotorra. Az eredmények kiértékelése után lehetővé vált az adott vontatási jellemzőkhöz tartozó veszteségek ok-okozati vizsgálata, és annak alapján következtetések levonása valamint üzemeltetési javaslatok megfogalmazása.

Kulcsszavak: Vontatási teljesítmény, szántóföldi mérés, teljesítményátviteli veszteségei

Abstract: Efficient energy utilisation is an important element of the development and operation of agriculture prime movers. In addition to these criteria, there is an increasing pressure on developers to comply with economical and environmental requirements. This makes higher and higher demands not just towards permanent engine development but tractor drivetrain efficiency as well. In our research, first we can measure the operational parameters of the tractor engine in the Dyno Room of our department. Later we have measured the BHP. and S.F.C of the built in tractor engine by PTO braking, in order to calculate the internal transmission losses. Finally, field tests were performed to measure drawbar force, towing speed, wheel slip, and fuel consumption certainly. The purpose of the research not only recording the parameters, but also the development of new measurement solution, which ensure determine the powertrain losses in indirect way. After the evaluation of measured parameters it was possible to research cause and effects, and drawing conclusions.

Keywords: specific fuel consumption, field test, transmission losses

1. BEVEZETÉS

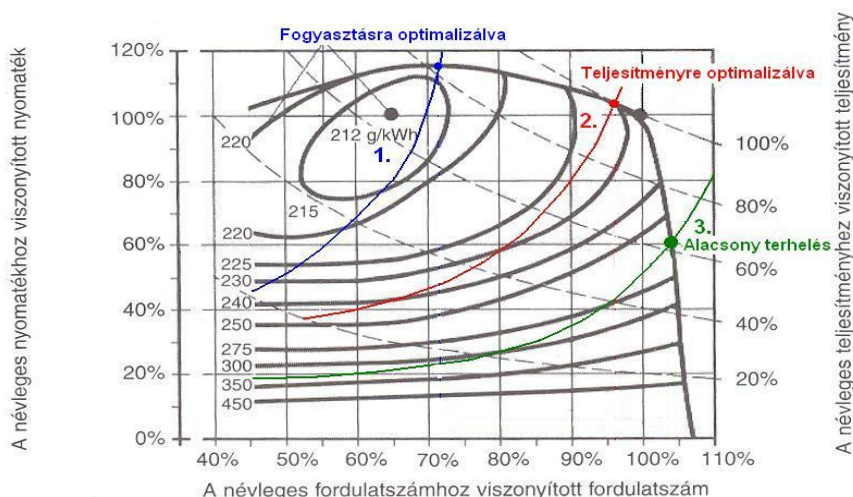
A sokoldalú alkalmazhatóság megköveteli a korszerű dízelmotor és teljesítmény átviteli szerkezet optimális munkapontjának megteremtését. Ez egyrészt azt jelenti, hogy a pillanatnyi áttétel széles sebességtartományban is optimális motorterhelést biztosítson, másrészt a motor teljesítményét a lehető legkisebb veszteséggel kell eljuttatni a talaj-kerék kapcsolatához. E szempontokon túl egyre nagyobb az igény a traktorok kihasználtságának és környezetvédelmi megfelelésének javítására is, ami a motorok folyamatos fejlesztésén túlmenően egyre nagyobb energiahatékonyságot igényel a traktorok hajtásláncától. [7]

1.1. Tengelyteljesítmény létrehozása optimális fogyasztás mellett

Folyamatos munkavégzés csak a gépcsoport megfelelő munkapontjában lehetséges.

A traktor adott pillanatban kifejtett vonóerejének és az önvontatási (gördülési ellenállási) erő összege adja a kerék kerületi erőt, amiből a hajtóművek összes áttétele, hatásfoka és a kerék gördülési sugarának függvényében a motor forgatónyomatéka meghatározható. Ez a motor

fordulatszámának függvényében ábrázolva, külső terhelésként felvihető a motor fordulatszám jelleggörbéjére, ahol a nyomatéki jelleggörbéit metszve munkapontokat fog adni. Ennek ismeretében adott külső terhelés mellett minden sebességi fokozathoz megrajzolható a terhelés a motorfordulatszám függvényében, ez gyakorlatilag egymás szorzata vagy hányadosaként (a q fokozati hányados alkalmazandó) előállítható jelleggörbe-sort eredményez. A belső égésű motorok munkapontját a motor és a munkagép jelleggörbéjén kialakuló nyomatékazonosság határozza meg.



1. ábra. Dízelmotor nyomatéka, fajlagos fogyasztása és munkapontjai a fordulatszám függvényében [9]

Az erőgép és munkagép illesztését a nyomatékvtó végzi, amely a pillanatnyilag alkalmazott áttételnek megfelelően, az 1. ábra szerint láthatóan több munkapontot is meghatározhat, melyek közül a fajlagos fogyasztás minimumát közelítő, (1.) és a motorteljesítmény maximális kihasználását célzó, (2.) munkapontok jelentősége egyértelmű.

A szabályozott ágon a nagy fordulatszámú és kis terhelésre vonatkozó jellemzőket a (3.) munkapont jelöli. A jelenlegi üzemelési gyakorlatban a munkagép illesztési problémák, a hatásfok rovására is kényelemre törekvő üzemeltetés, valamint az erőgép téves és hiányos ismereteken alapuló „kímélete” miatt sajnos igen gyakran ebben a tartományban üzemelnek az erőgépek motorjai.

1.2. A teljesítményátviteli rendszer veszteségei

A nyomatékvtókban a teljesítmény továbbítása csak veszteségek mellett lehetséges. A veszteségek mértéke azonban az alkalmazott konstrukció és terhelési viszonyok függvényében eltérő értékeket vehet fel, mely értékek számszerű információt adnak az adott nyomatékvtóról.

1.2.1. A nyomatékvtó mechanikai veszteségei

- A fogaskerék kapcsolatoknál jelentkező súrlódási veszteségek
- A csapágyazásoknál jelentkező veszteségek
 - Tengelytömítések súrlódási veszteségei
 - Teljesítmény-elágaztatásos nyomatékvtók fokozatmentes elemeinek (variátor, toroid dörzstárcsa, stb.) veszteségei (Újabban hidromechanikus, ill. elektromechanikus)
 - Többtárcsás tengelykapcsoló súrlódási veszteségei (indulásnál és terhelés alatti áttételváltásnál) [3]

1.2.2. Hidraulikai veszteségek a nyomatékvtáltóban

- A nyomatékvtáltó saját hidraulikus körének veszteségei
- kenőolaj áramoltatásra, porlasztásra
- tengelykapcsolók működtetésére (TLT, POWERSHIFT)
- hidrosztatikus kormányzás és fékezés működtetésére
- Oldott fék és tengelykapcsoló lamellák közötti folyadéksúrlódás [1.]

1.3. A talaj-kerék kapcsolatában jelentkező veszteségek

- A traktor menetellenállásaiból, elsősorban a gördülési ellenállásból adódó önvontatási veszteségek, melyek a kifejtett vonóerőt csökkentik. [2],
- A kerék (relatív) csúszásából adódó veszteségek, melyek a haladási sebességet csökkentik.

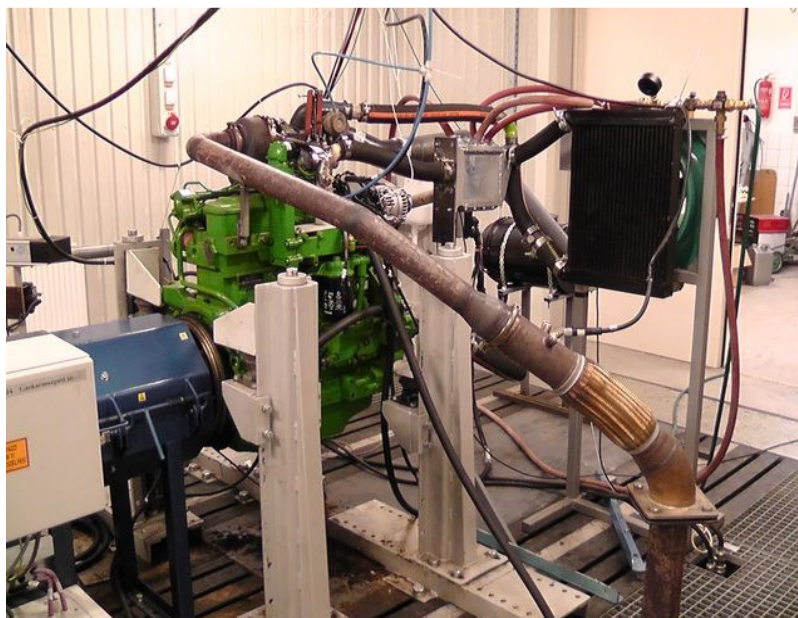
2. A MÉRÉS ESZKÖZEI ÉS MÓDSZEREI

A végzett mérések jellegük és helyszínük szerint három csoportba sorolhatók:

- motorféktermi vizsgálatok
- mobil fékpadi mérések TLT fékezéssel
- vontatási vizsgálatok

2.1. Motorféktermi mérések

A fékpadi mérések a Nyíregyházi Egyetem motorféktermében a 2. ábrán látható John Deere 4045 HL 480 típusú motoron lettek végrehajtva több ismétlésben, különböző terhelési viszonyok között. A forgatónyomaték és fordulatszám adatokon túl folyamatosan rögzítésre került a motor hajtóanyag és levegőfogyasztása, valamint az üzemi körülményeket meghatározó hőmérséklet és nyomás adatok.



2. ábra. A vizsgálandó motor a fékteremben

2.2. TLT fékezés mobil fékpaddon

Annak érdekében, hogy kimutatható legyen a traktor hajtásláncában keletkező veszteség traktoroknál a TLT tengelyen végeztünk el fékpadi méréseket. Erre a célra a NAIK-MGI Gödöllő mobil fékpadját alkalmaztuk, amelynek kialakítása mérési állapotban a 3. ábrán látható.

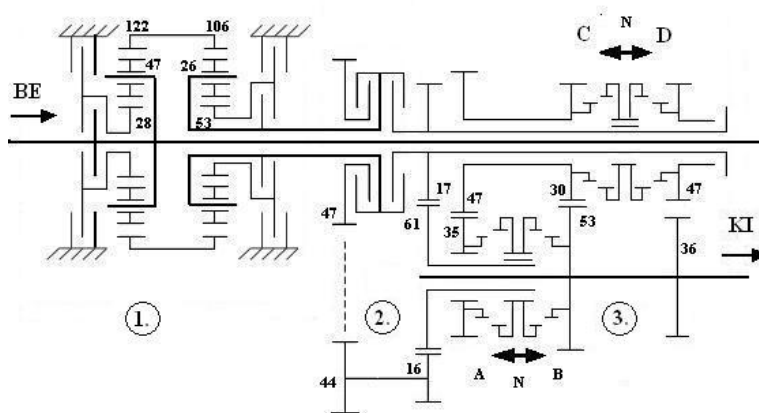


3. ábra. A mobil fékpadi

A Sigma 5 típusú örvényáramú elektromos mobil fékpaddal mérhető motorjellemzők a traktor TLT hajtásrendszere után leadott értékeket adják, vagyis a mért értékek magukban foglalják a traktor járókerék hajtásrendszerének forgó, de terheletlen állapota melletti üresjáratú mechanikai és hidraulikai veszteségeit tartalmazzák.

2.3. Szántóföldi vontatási vizsgálatok

A vizsgálathoz CLAAS ARION 420 típusú traktort használtunk, amely 16 fokozatú, szorzó rendszerű nyomatékváltóval rendelkezik.

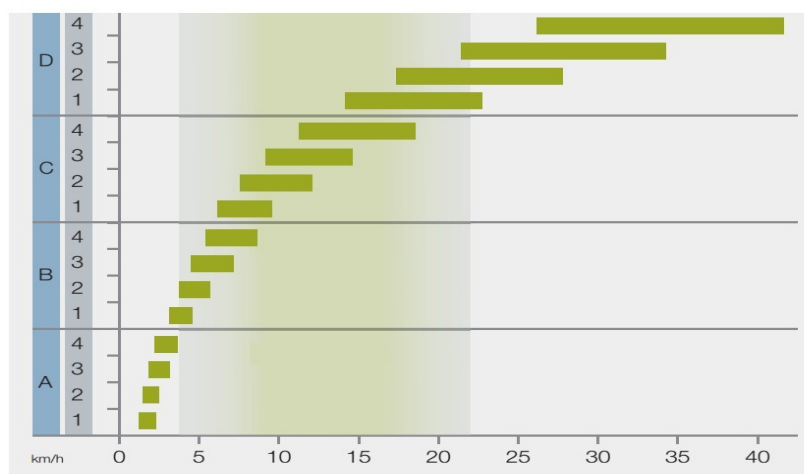


4. ábra: CLAAS traktor Qadrishift váltójának szerkezeti felépítése

1. terhelés alatt kapcsolható bolygóműves csoport 2. irányváltó, 3. csoportváltó,

Vizsgálataink szempontjából fontos áttekinteni az erőgép nyomatékvtójának konstrukcióját. A traktor szorzó rendszerű nyomatékvtójának felépítése a 4. ábrán látható. A motor forgatónyomatéka az 1. jelű, négy terhelés alatt kapcsolható fokozatot biztosító bolygóműves csoporton halad keresztül először. Utána a 2-vel jelzett irányváltón megy keresztül a hajtás, melynek többtárcsás, hidraulikus tengelykapcsolói biztosítják a rángatástól mentes, sima elindulást előre és hátra is. A sor végén, a 3. számmal jelölt, szintén elektrohidraulikus úton, de csak álló helyzetben kapcsolható csoportváltó látható, mely négy fokozatával biztosítja az A-B-C-D csoportokat, így a csoportonkénti négy fokozattal tulajdonképpen előre és hátra összesen 16-16 fokozat áll rendelkezésre.

Az 5. ábrán az egyes fokozatokban használható munkasebességek oszlopdiagramjai láthatók, gyári méretű gumibronccsal 1400-2100 1/min motorfordulatszám-tartománnyal kalkulálva. Méréseinkhez a nagyobb vonóerőigény kielégítő, kisebb sebességű szántóföldi munkákhoz használt B3-C3 fokozatokat választottuk.



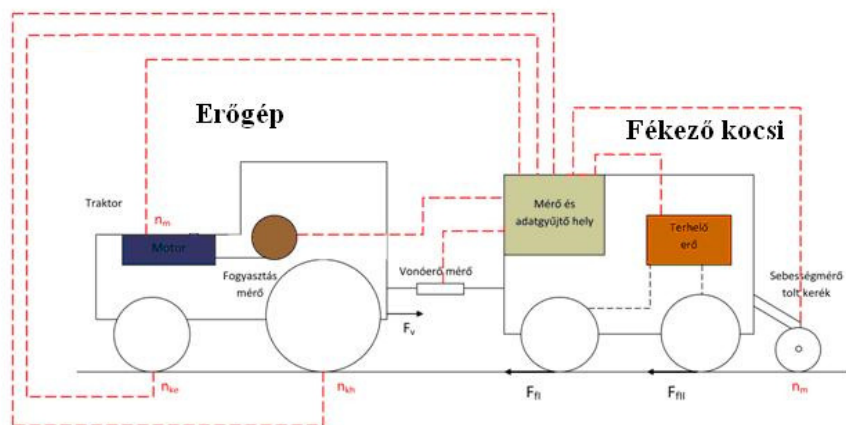
5. ábra Az egyes fokozatok által lefedett sebességtartomány 1400-2100 1/min motorfordulatszám-tartományban.

A traktor vontatási jellemzőinek megállapítására egy speciális építésű fékező kocsi biztosította a terhelést, amelynél változó és állandó terhelési viszonyok is beállíthatók voltak.

A fékező-mérőkocsi egy MAZ 537 típusú rakéta- és harckocsi vontató járműből lett kialakítva, amelybe a mérési céloknak megfelelő szabályozott hajtást építettek. A szabályozható szállítású, zárt hidrosztatikus hajtással a fékező kocsin beállítható terhelő nyomatékkal és vontatási sebességgel a vontató traktor terhelése szabályozható.

A fékező kocsi és a vontatótraktor együttes üzemét reprezentáló adatok megállapítása erőméréssel, illetve sebességméréssel történik a 4. ábrán látható módon. A szabályozó algoritmus kétféle, lehetőséget biztosít:

- Állandó sebességnél és
 - Állandó fékezőerőnél végzett méréseket.
- (sebességre, illetve vonóerőre szabályozás).



6. ábra. CLAAS traktor és MAZ fékkocsi szántóföldi elrendezési vázlata

A **vonórúd** (F_v) [kN]; mérésére a 6. ábrán látható mérőkocsi vonórúdjában elhelyezett erőmérő cella szolgál, amelynek mért értékeit az erőmérő cellának a mérőkocsin elhelyezett adatgyűjtője tárolja.

A traktor hajtott kerekének **kerületi sebességét** (v_k) [m/s] a talajkerék kapcsolatában a kerékre felszerelt fordulatszám jeladóval mért fordulatszámából (n_k) és a legördülési sugárból (r_g) lehet meghatározni az alábbiak szerint:

$$v_k = 2 \cdot \pi \cdot r_g \cdot \frac{n_k}{60} \quad (1)$$

Minden terepen mozgó járműnél a kerék és a talaj kapcsolatában csúszás van, aminek nagyságát a slip (s) fejezi ki, ezért mérni kellett a gépcsoport tényleges haladási sebességét. A tényleges haladási sebességet a fékezőkocsihoz kapcsolt, tölt kerekű mérőrendszer végzi, amelynél a tölt kerék fordulatszámából és a gördülési sugárból a hajtott kerék sebességének számítási módszerével meghatározható a haladási sebesség. Az így mért két sebesség különbsége határozza meg a csúszás mértékét százalékban kifejezve az alábbiak szerint:

$$s = \frac{v_k - v_H}{v_k} \cdot 100 \quad (2)$$

ahol v_k a kerék kerületi sebessége, v_H pedig a haladási sebesség.

A motor fordulatszáma közvetetten a traktor TLT tengelyére kapcsolt impulzus-jeladó segítségével volt mérhető.

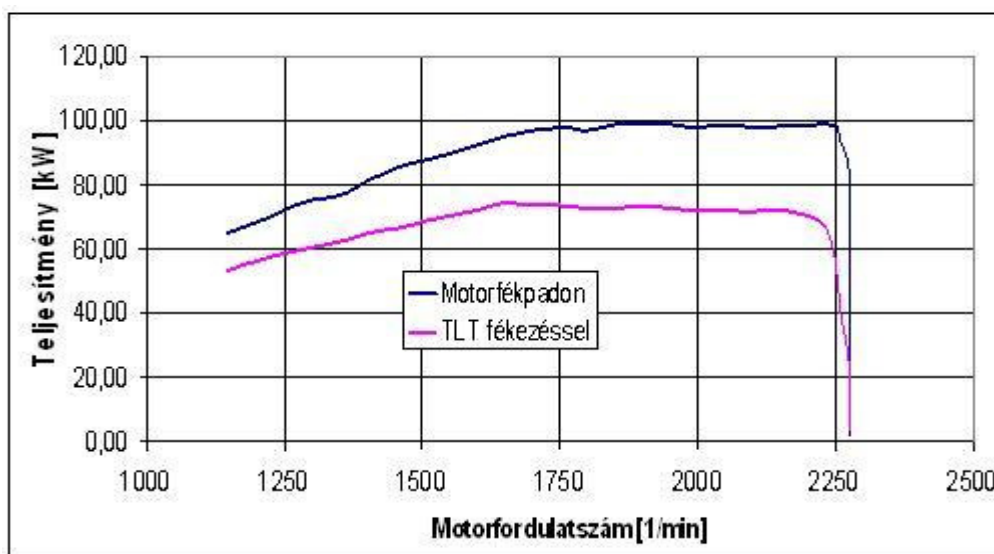
A hajtóanyag-fogyasztás mérésére a mérőkocsihoz elhelyezett, de a vizsgált traktor hajtóanyag-ellátó rendszerébe beépített AVL gyártmányú PLU átfolyásmérőt használtuk. Ez a mérőműszer a traktor hajtóanyag ellátó rendszerének az előremenő ágában beépített 600 l/h folyadékáramú átfolyásmérőből és egy a visszafolyó ági folyadékáram mérőből épül fel.

A különböző jeladók szolgáltatott jeleket egy SPIDER Mobil típusú, 16 csatornás mérő és adatgyűjtő rendszer fogadta. A mérések során alkalmazott mintavételezési sűrűség 10 Hz volt

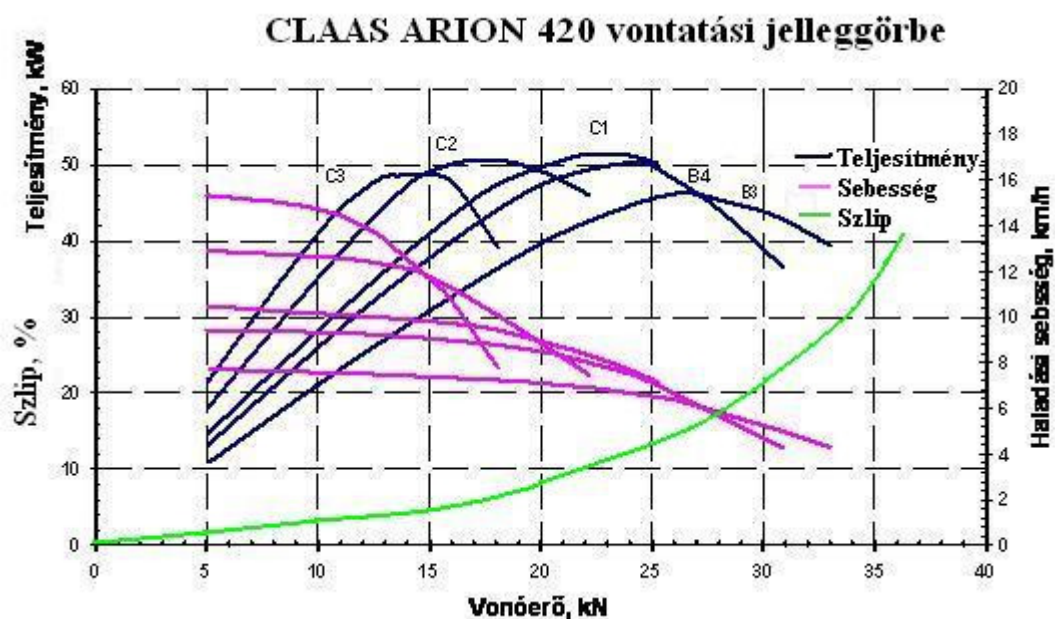
A mérőrendszer által összegyűjtött adatokat előzetes szűrés nélkül CATMAN szoftver segítségével rögzítettük és mentettük el. A szoftver segítségével a mért adatok a mintavételhez igazodó táblázatban kerültek kiolvasásra/megjelenítésre, mely táblázat egymást követő sorai a 0,1 s-ként mért jellemzőket tartalmazták.

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A vizsgálat célkitűzéseinek megfelelően, a mért motor (és -traktor) jellemzők közül a teljesítmény értékek bemutatására, és a különbségük okainak feltárására fókuszálunk. A 7. ábrán látható, hogy a traktor motorja kiserelt állapotban a fékpadon mintegy 100 kW maximális teljesítményt adott le, és magas nyomatéki rugalmasságának köszönhetően ezt az értéket 1751-2250 1/min fordulatszám értékek között tudta is tartani. A TLT fékezéssel mért teljesítmény ezzel szemben 1680 1/min értéknél éri el a maximumát, 75 kW-t, ennél nagyobb fordulatszámon pedig kis mértékben ugyan, de fokozatosan esik a teljesítmény, 2200 1/min-nél már csak 70 kW. Ez a névleges fordulatszámon 30 kW veszteséget jelent, ami a bemenő motorteljesítmény 30 százaléka. Alacsony, 1250 1/min fordulatszámnál a 72 kW fékpadi teljesítményből 59 kW marad a TLT-n, ez 13 kW nagyságú, arányát tekintve pedig 18 százalékos veszteség.



7. ábra. A CLAAS traktor motorjának teljesítménye a fordulatszám függvényében



8. ábra. CLAAS traktor vontatási teljesítménye az egyes sebességfokozatokban, valamint a kerékcsúszás (szlip) a vonóerő függvényében

A 8. ábrán a vontatási vizsgálat során felvett jellemzők láthatók a vonóerő függvényében. Jól látható, hogy a legnagyobb vontatási teljesítményt (52 kW-ot) C1 fokozatban fejtette ki a traktor, 10 % kerécsúszás mellett. Minimális a különbség a szomszédos, C2 illetve B4 fokozatokban, ott 50-50 kW maximális vontatási teljesítményt mérünk 7 ill. 12% kerécsúszás mellett. Ha a veszteségek nagyságát vizsgálva az elvégzett mérések alapján megállapítható, hogy a fékpadi motorteljesítménynek 25-30 %-a a hajtáslánc vesztesége, és a talaj-kerék kapcsolatban újabb 20-25% veszteség jelentkezik vontatás közben.

4. KÖVETKEZTETÉSEK JAVASLATOK

A motor fékpadi és a traktor TLT fékezéssel mért teljesítménye közötti különbség jól jellemzi a veszteségek nagyságát, mely gyakorlatilag arányos a motor fordulatszámaival. Figyelembe kell venni ugyanakkor azt is, hogy a dízelmotor a traktorba beépítve a hajtáslánc mellett egy sor segédberendezést (generátor, hűtőventillátor kompresszor, szervoszivattyú, függesztőhidraulika szivattyúja, stb) is meghajt, amit a fékpadi mérés során nem. A fogyasztás minimalizása és az energiatakarékosság érdekében 1. ábrán látható fogyasztási sajátosságokat és méréseink eredményét figyelembe véve javasoljuk, hogy a munkavégzés során a motort azon a legalacsonyabb fordulatszámon kellene üzemeltetni, ahol teljesítménye éppen fedezi a munkagép teljesítmény igényét. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy akár 2-3 sebességi fokozattal fentebb kapcsolva, ha nincs nagy teljesítményigény a motor fordulatszámát akár 1200 1/min fordulatszámig csökkentve üzemeltethető leggazdaságosabban a motor.

A vontatási vizsgálat pedig rávilágított a talaj-kerék kapcsolat veszteségeinek a sajátosságaira: Az optimálisnál nagyobb haladási sebesség (esetleg túl magas sebességi fokozatban) a gördülési ellenállás okozta veszteségeket növeli, ezért is csökken a kifejthető vontatási teljesítmény. Túl alacsony sebességi fokozatban pedig igaz, hogy nagy vonóerőt tud kifejteni az erőgép (ezzel akár nagyobb munkaszélességű eszközöket is vontathatana) de ehhez progresszíven növekedő szlip és ezáltal teljesítményveszteség is társul. Méréseink is igazolták, ezáltal megerősítjük azt a követendő üzemeltetési javaslatot, hogy optimális vontatási teljesítmény, így a szlip és a gördülési ellenállás okozta veszteségek összegének minimuma 8-12% közötti kerécsúszás értékek között alakul ki. A szlip üzem közbeni ellenőrzésével és optimális szinten tartásával, a vontatást végző traktorok fogyasztása minimalizálható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MOLARI G. –SEDONI E.:** (2008) Experimental evaluation of power losses in a power shift agricultural tractor transmission Biosystems Engineering Vol. 100 pp.177-183.
- [2] **KISS P.-LAIB L.** Terpen mozgó járművek energetikájának egyes kérdései MTA-AMB XXV.Gödöllői Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás 2001. január 23-24.
- [3] **JEN T.C. –NEMECEK D.J.** (2008): Thermal analysis of a wet-disk clutch subjected to a constant energy engagement Heat and Mass Transfer Vol 51. pp.1757-1769.

A DRÓNOK KATONAI ALKALMAZÁSA

THE MILITARY APPLICATION OF DRONES

SZEGEDI Péter¹, BÉKÉSI Bertold²

¹ Ph.D., kiemelt főtiszt, szegedi.peter@uni-nke.hu
MH HVK Kiképzési és Oktatási Csoportfőnökség, H-1055, Budapest, Balaton út 7-11

² Ph.D., egyetemi docens, bekesi.bertold@uni-nke.hu
Nemzeti Közszoigálati Egyetem, Fedélzeti Rendszerek Tanszék, H-5008, Szolnok, Killián út. 1.

Kivonat: Napjainkban az aszimmetrikus fenyegetések egyre inkább valósággá válnak katonai és nem katonai műveletek során egyaránt. Ezekre a kihívásokra egy lehetséges választ adhatnak korunk technológiai, azok tovább fejlesztett változatai, illetve alkalmazásuk, felhasználásuk lehetőségeinek kidolgozása.

A fegyveres erők feladatává vált, hogy felkészüljenek és legyenek képesek hatékony megoldásokat adni olyan kihívásokra is, mint például a terrorizmus. A tanulmányban betekintést nyújtunk a pilóta nélküli eszközök alkalmazhatóságára katonai műveletekben.

Kulcsszavak: haditechnikai újítások, fegyverrendszerek, katonai célú kutatások, robotok, UAV-k, drónok

Abstract: These days asymmetric threats seem to have become a part of our reality in military and non-military operations alike. A possible answer to this challenge may be offered by the recent and future developments in military technology and their present and future ways of application. It has become a task of the armed forces to prepare and develop solutions to such challenges as terrorism. The present study offers an insight in the applicability of unmanned vehicles in military operations.

Keywords: Military technology innovations, weapon systems, military research, robots, UAVs, drones

1. A BIZTONSÁGI KÖRNYEZET ÉS AZ ÚJ TECHNOLÓGIÁK KAPCSOLATA

A mesterséges intelligenciák és az automatizált vagy akár autonóm eszközök megjelenésével tényként kell foglalkoznunk, amikor a jövő háborúit vizsgáljuk. A védelmi kutatások legfontosabb projektjeinek egyike a pilóta nélküli (légi, földi, vízi) járművek fejlesztése, alkalmazási lehetőségeikhez szükséges doktrínák, szabályzatok, eljárások kidolgozása. Az autonóm, félaunóm fegyverrendszerek megjelenése a három, „négy”, vagy csak megközelítés kérdése hány dimenzióra bontott katonai, nem katonai műveletekben (pl.: városi környezet, információs hadszíntér, digitális harctér) megkérdőjelezhetetlen tény. A felfegyverzett, csapásmérésre és egyéb funkciókra (pl.: logisztikai feladatok ellátása) kifejlesztett robotok ma már részét képezik egyes haderők felszerelésének, közös jellemzőjük a feladat-optimalizáltság.

Egyre inkább olyan aszimmetrikus konfliktusokra kell készülni, amelyekben a technológiákhoz való hozzáférésben is eltérő lehetőségei lesznek a szembenálló feleknek. A műveleti környezet megfigyelt (globális média) és kontrolált (valós idejű adatok a döntéshozók kezében) lesz, a kialakuló helyzetek megkövetelik a gyors és pontos döntéseket és a hatékony végrehajtást. A haderők átalakítása a 20. századi tevékenységeket kiértékelve részben alapját képezi a jelen és a jövőben végbemenő katonai konfliktusai megoldásához szükséges erőforrások fejlesztésének. A 21. század technológiai, technikai és informatikai újításait alkalmazó haderőnek fel kell készülnie a robot-, és infokommunikációs rendszerek használatával végrehajtott műveletek vezetésére és végrehajtására. Ezeknek az összetett műveleteknek a megvalósulását az egyre kifinomultabb technológiájú fegyverrendszerek összekapcsolása teszi lehetővé. A hálózatban működtetett eszközök alkalmazása a sikeres

feladatmegoldást, a saját erők és az ellenség erőforrásainak, tevékenységeinek megismerését fogja elősegíteni.

Az amerikai haderők haderő-fejlesztési terveiben szerepel, hogy ki kell fejleszteni és alkalmazni kell harctéri autonóm robotokat. Nem cél, de a lehetőség körvonalazódni látszik, hogy e tervek megvalósítása az embert akár ki is zárhatja a döntési–végrehajtási folyamatból. A megfelelő hitelesség, pontosság mellett fontos tulajdonsággá válhat a robotok tanulási képessége. Annak ellenére, hogy a technológiai fejlettségük nem éri el az emberi szintet a hiányosságaik kompenzálhatók a manőverezhetőség, előreprogramozhatóság, önálló adatfeldolgozás és egyéb tulajdonságaikkal, képességeikkel.

A fejlesztés alatt álló robotrendszerek teljesítményei, egyedi és hálózatos üzemeltetésük olyan lehetőségeket biztosíthatnak, amelyek a helyzet-előrejelző, illetve döntéshozó és feladatvégrehajtó képességeiket is jelentősen növelheti. A modern technológiák, eszközök, a hálózatközpontúság a vezetésben és a végrehajtásban is lehetőséget biztosít a műveleti helyzetet meghatározó események és azok változásainak valós idejű megfigyelésére. Az alkalmazott eszközök információ feldolgozó képessége gyorsabb, reakció ideje rövidebb az emberénél. Nem szenvednek a környezeti hatásoktól, bírják a monotonitást, nem éreznek félelmet stb. A technológiák fejlődésével a drónok (szárazföldi, légi, vízi) egyre inkább képesek átvenni azokat a feladatokat, amelyek megoldása emberi beavatkozással történt.

A parancsnokoknak (törzseknek) bárhol is helyezkednek el a vezetői (végrehajtói, döntés-előkészítési) hierarchiában, ismerniük és érteniük kell a stratégiai végállapotot és szemelőt kell tartatniuk a műveletben résztvevőket, érintetteket és a tevékenységek okozta hatásokat (fontos, hogy nemcsak az elsődleges hatásokat). A biztonságos környezet fenntartásához szükséges régi és új technológiákat egyaránt alkalmazó haderőről gondolkozunk, a technikai, technológiai fejlesztésekről, azok fejlettségéről és a folyamatokat irányító, befolyásoló parancsnokok, katonák fejlesztéséről egyaránt kell beszélnünk. A szervezetek működési és a feladatok végrehajtásának képességét az organizációban tevékenykedő egyének személyes ismeretei, tulajdonságai, elköteleződése, valamint az alkalmazott rendszerek, drónok, mesterséges intelligenciák képességei és az erőforrások tudatos felhasználása egyaránt befolyásolják.

A műveletek kivitelezése olyan dinamikusan változó aktív feladatot jelent, amely összefügg a különböző hálózatba kapcsolt rendszerek képességeivel, a vezetési folyamattal, annak módjával és nem utolsósorban a végrehajtó erők felkészültségével. A parancsnokoknak és a végrehajtó állománynak egyaránt igazítaniuk kell a magatartásukat, felkészültségüket a feladathoz. A parancsnokoknak, a katonáknak (differenciáltan a rájuk vonatkozó mértékben) ismerni és alkalmazni is kell a műveletek végrehajtásához használt rendszereket, és az alkalmazott eszközök képességeit, valamint a módszerek korlátait, lehetőségeit. Fontos, hogy a parancsnok ismerje azokat a szempontokat, amelyek figyelembevételével meghatározhatja a feladat végrehajtásához szükséges képességeket, majd képes legyen azok irányítására és vezetésére.

A veszélyek és fenyegetések elleni védekezés alapját a kockázatelemzés, a sebezhetőségünk megbecsülése és a lehetséges hatásokra való ellenstratégiák kidolgozása, azok tesztelése, begyakoroltatása képezi. [1, 2, 3, 4, 5, 13, 17]

2. A PILÓTA NÉLKÜLI ESZKÖZÖK FEJLESZTÉSI TRENDJEI

Az új technológiák megjelenése ma már úgy tűnik, hogy „szállítószalagon érkezővé vált”. Minden pillanatban újabb és újabb a mindennapi ember számára már-már felfoghatatlan és beláthatatlan eredményeket, következményeket is okozhat. A meglévő és a folyamatosan frissülő ismeretek kombinációin alapul pl.: elektronika és biológia, szerves számítógépek megjelenése, mechatronika kialakulása, stb. Egyre több olyan alrendszer, elem áll

rendelkezésre, amely újabb kombinációkat hozhat létre, amely új és újabb képességek kialakulásához vezethet.

Ma az egyik legnagyobb kihívás a reguláris haderők számára, hogy előálljanak az aszimmetrikus fenyegetésekre olyan ellenintézkedésekkel, amelyek rendhagyóak és hatékonyak. A katonai műveletek kivitelezésében a robotrendszerek, beleértve a biológiai–technikai hibrideket is, több változást is okozhatnak. Az automatizált vagy távirányított fegyverrendszerek, drónok megkönnyítik a feladatok végrehajtását. A fejlesztések eredményeinek terjedése előre jelezhető számos területen már a nem túl távoli jövőben is (pl.: információszerzés, célpont megsemmisítés stb.). A költséghatékony tömeggyártási képességek kialakulása az UAV eszközök tömeges elterjedésének egyik feltétele. Ezek az új típusú fegyverek a konfliktusok elrendezésének helyszíneit a hagyományos csataterkekről új harcterekre, helyszínekre helyezhetik át, amelyek közös jellemzője a polgári lakosság tömeges jelenléte.

Katonai a pilóta nélküli légi járműveket napjainkban is számos területén használják (vagy a prototípusok tesztelése folyamatban van), néhány ezek közül:

- Felderítő küldetések: Az ember nélküli rendszerek alapvető funkciói közül az egyik jelenleg is már elterjedt alkalmazási területe a felderítés (akár városi környezetben is). Valós idejű adatokat nyújtanak az üzemeltetőknek (célpontok beazonosítása, az információ megerősítése és a nyomon követése stb.). Az eszközök alkalmazott szenzorrendszerek a nap 24 órájában képesek biztosítani az adatokat, hogy például felügyeljék a műveleti terület meghatározott szektorait.
- Célpontok támadása, megsemmisítése: A pilóta nélküli rendszerek akár a fedélzetükön elhelyezett fegyverzettel, illetve más az adott eszközzel azonos hálózatban működő más eszköz képességeit felhasználva biztosítja annak a lehetőségét, hogy a kijelölt műveletet végrehajtsák.
- Haditengerészeti alkalmazások: Az UAV-eket alkalmazzák felszíni tűztámogatásra, továbbá a képesek a horizonton túli célpontokról is adatokat gyűjteni. A drónok a rakétavédelmi rendszerek elemei, részt vesznek a tengeralattjáró elhárító rendszerek képességének kialakításában, mentési és kutatási feladatokban, aknakutatásban és megsemmisítésben valamint tengeri és tengerészgyalogosok műveletek, missziók támogatásában.
- Elektronikai hadviselés: Drónokat alkalmaznak (egyedileg és hálózatos formában) különböző szenzorok, irányított energia fegyverek szállítására, jelfelderítésre, elektronikus zavarásra, stb.
- Vegyi felderítés: A pilóta nélküli rendszerek CBRN¹ szennyezett területekről szolgáltatnak valós adatokat az alkalmazók számára.
- PSYOPS és a különleges műveleti alkalmazások: Robotokat alkalmaznak a műveletek tűz-, felderítő és logisztikai támogatásának biztosítására (tervezett és sürgősségi támogatásra egyaránt), röpcédulák terjesztésére például olyan területek felett, ahol az ott élő lakosság befolyásolása a cél (hatásalapú műveletek).
- Logisztikai támogatások: Távirányított, vagy autonóm feladat végrehajtásra képes robotokat (kerekekkel, láncalpakkal, illetve „lábakkal” működtetett szárazföldi és forgószárnyas repülő eszközöket egyaránt) alkalmaznak szárazföldi műveletek logisztikai ellátására, mint például felszerelések szállítására, a szállítási útvonalak biztosítására, a konvojok kísérésére, leszálló pontok felderítésére, kárfelmérésre stb.
- stb.

A felsorolás nem teljes, de így is látható, hogy milyen széles területen alkalmazhatók robotrendszerek. Jellemző rájuk a feladat-optimalizáltság. A fejlesztési trendek felsorolása

¹ Chemical, biological, radiological and nuclear - Vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris

kezdődhet a kerekkel, láncalpakkal, vagy szárnyakkal rendelkező, repülési, úszási, stb. képességekkel rendelkező eszközöktől, amelyek távirányítva, vagy autonóm módon hajtják végre feladataikat, a láthatatlan méretű nanorobotokig, amelyek például az emberek szervezetében működve, annak állapotáról, helyzetéről adhatnak információkat, vagy akár végezhetnek el életmentő beavatkozásokat. A drónok belső struktúráit tekintve akár szerves, vagy szilícium alapú összetevőkből állhatnak. A néhány alkalmazási példából is látható, hogy az új technológiák alkalmazása nem csak mérnöki feladat, hanem az alkalmazóknak, a törvényhozóknak is el kell fogadniuk jelenlétüket, meg kell érteniük működésüket, alkalmazhatóságuk előnyeit és korlátait [3, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14].

3. A HÁLÓZATKÖZPONTÚ HADVISELÉS ÉS A DRÓNOK

Már napjainkban is igaz, hogy a hálózatok átszövik mindennapi életünk, az általunk alkalmazott technikák és technológiák látható és láthatatlan kapcsolódásait kihasználva dolgozunk, szórakozunk, biztosítjuk kényelmünk (pl.: az internet, az elektromos hálózatok, a szállítási rendszerek, stb.). Az új kommunikációs technikák között korunkban megjelent a hálózatiság. A hálózati működés a modern technológiáknak köszönhetően széleskörűen van alkalmazva a társadalom, a gazdaság, a kultúra, vagyis az élet valamennyi rendszerében, így a honvédelmi rendszerekben is létrehozva a hálózatok világát. Az internet és a mobilkommunikáció megjelenése jelentős hatással volt a társadalomra, illetve továbbra is jelentős hatást fejtenek ki ezen technológiák átalakulásai, valamint más új technológiák (biotechnológia, nanotechnológia) megjelenése is.

Az információk jelentős szerepet játszanak életünkben. Egy a nemzetközi kommunikációs hálózatokon keresztül végrehajtott cyber-támadás lényegében független a támadó számbeli méretétől, illetve katonai felkészültségétől, sokkal inkább meghatározó az agresszor számítástechnikai jártassága, képessége. Az ilyen támadás a váratlan (figyelmeztetés nélküli) gyors csapás lehetőségét biztosítja. Az információs hadművelet széles spektrumot foglal magába, az információ-tartalomtól az információ-feldolgozó műveleteken át az információs technológiáig terjed. A számítógépes hálózatokon alapuló ellátó-, fegyverrendszerek, stb. működésének befolyásolásához az információ megszerzése, befolyásolása, illetve az alkalmazott robotok irányításának megszerzése is elégséges lehet.

Az erőforrások kihasználásának hatékonysága fokozható, ha egymással összekapcsolva (parancsnok és végrehajtók adatrendszereinek integrálása ugyanazon hálózatba), egy rendszerként üzemeltetik azokat². Az információs fölény biztosítása olyan dinamikus változó aktív feladat, amely összefügg a különböző hálózatba kapcsolt szenzorok (hagyományos és nanotechnológiával készült), felderítő eszközök és rendszerek minőségétől, a végrehajtó erők felkészültségétől, képességeitől és a vezetési folyamattól. Az adott műveletben résztvevők valós időben, felhasználható formában és valós tartalommal képesek hozzáférni a számukra releváns információhoz.

A hálózatközpontú hadviselés eredményességének és sikerének feltétele a döntési fölény (információs fölény). Ez akkor érhető el, ha a haderő képes pontos és aktuális információk megszerzésére, azok gyors és biztonságos továbbítására, értelmezésére és felhasználására. Ehhez a haderőnek és az együttműködőknek egy integrált hadműveleti hálózatot kell alkotnia, a megfelelő jogosultságok meghatározottságával és működtetésével.

Az eredményességhez szükséges, hogy a had-, és együttműködő erők vezetésének minden szintjén időben álljanak rendelkezésre a szükséges információk, a döntések egymásra épülve optimális szinten szülessenek meg és a végrehajtás kontrolált legyen. A feladatok

² A hálózatközpontú hadviselés (Network Centric Warfare - NCW) - NATO terminológia szerint hálózat nyújtotta képesség (Network Enabled Capability – NEC) Haig Zsolt - Várhegyi István: A cybertér és a cyberhadviselés értelmezése, http://www.zmne.hu/kulso/mhht/hadtudomany/2008_e_2.pdf

végrehajtása során fontos az együttműködők közötti minél jobb információ-megosztás, a gyors döntéshozatal, illetve, a megfelelő időben a megfelelő eszköz (katonai és egyéb) kerüljön bevetésre, alkalmazásra.

A rendelkezésre álló feladat-végrehajtó egységek száma természetesen korlátozott, nem jellemző az erőforrások gyors és nagymértékű növekedése. A feladatok végrehajtásához, végrehajthatásához olyan új lehetőségek, módszerek, eszközök (például: a drónok) jelenthetnek megfelelő alternatívát, amelyek a meglévő, kihasználatlan képességekre és kialakult vagy kialakítandó kapcsolatrendszerekre épülve fejlesztik, bővítik, vagy egyszerűen javítják a meglévő képességeket. Az ilyen működés kialakítása és fejlesztése a hálózatos működésen rejlő lehetőségek kiaknázásán alapul [2, 7, 9, 12, 15, 16].

ÖSSZEFOGLALÁS

A jövő, jelenben is prognosztizálható, új technológiáinak alkalmazása nem csak mérnöki feladat, az alkalmazóknak (vezetőknek, parancsnokoknak), a törvényhozóinak is meg kell érteniük működésüket, el kell fogadniuk jelenlétüket, és ismerniük kell alkalmazásuk lehetőségeit, korlátait.

A modern technológiák, mint a pilóta nélküli eszközök céltudatos alkalmazása és a hálózatközpontúság a vezetésben és a végrehajtásban is lehetőséget biztosít a műveleti helyzetet befolyásoló, alakító események változásainak valós idejű megfigyelésére, elemzésére, értékelésére és a döntések gyors, pontos végrehajtására, az okozott hatások kontrolálhatóságának növelésére.

A hatásalapú műveletekben résztvevő katonáknak, feladatokat ellátó civil szakértőknek, vezetőknek, parancsnokoknak (differenciáltan a rájuk vonatkozó mértékben) ismerni, érteni és alkalmazni is kell tudniuk a háború összefüggéseit, művészetét, eszközrendszerét, valamint az alkalmazott eszközök képességeit, módszerek hatékonyságát. Egyaránt ismerniük kell azokat az új és régi technológiákat, eljárásokat, eszközöket, rendszereket, erőforrásokat, amelyek a rendelkezésére, illetve a szemben álló fél rendelkezésére állnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **RONAN DOARÉ, DIDIER DANET, JEAN-PAUL HANON, GÉRARD DE BOISBOISSEL:** *Robots on the Battlefield. Contemporary Perspectives and Implications for the Future*, Combat Studies Institute Press, US Army Combined Arms Center: Ecoles de Saint-Cyr Coëtquidan, Kansas, 2014, (online), url: <http://usacac.army.mil/CAC2/cgsc/carl/download/csipubs/FrenchRobots.pdf> (2016.04.08)
- [2] **DANN ALBRIGHT:** *Drone Wars: How UAV Tech Is Transforming the Future of War*, 2014. september 24. (online), url: <http://www.makeuseof.com/tag/drone-wars-uav-tech-transforming-future-war/> (2017.05.15)
- [3] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.:** *Robotok alkalmazásának lehetőségei katonai műveletekben*, XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2016. pp. 120-129. (ISBN: 978-963-9871-61-8)
- [4] **JÜRGEN A., MARK A. GUBRUD:** *Risks from military uses of nanotechnology – the need for technology assessment and preventive control*, taken from „Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications”, Eds. M. Roco, R. Tomellini, 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology, Lecce (Italy), 31 Jan. – 1 Febr. 2002. pp. 144-148. (online), url: https://e3.physik.tu-dortmund.de/p&d/pubs/riskmilnt_lecce.pdf (2017.05.15.)

- [5] **JEROME C. GLENN:** *Nanotechnology, Future Military Environmental Health Considerations*, Technological Forecasting and Social Change Volume 73, Issue 2, February 2006, Pages 128-137. (online), url: <http://www.millennium-project.org/millennium/nanotechnology-military.pdf> (2017.04.08)
- [6] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.:** *A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2016. Miskolc, 2016. május 25. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottság, ISBN 978-963-7064-33-3 Debrecen 2016. pp. 592-601.
- [7] **ROBERT W. H. PURDY:** *A hatásalapú műveletek áttétele a gyakorlatba*, 2005, (online) url: http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2005_4/02_purdy.pdf (2016.11.30)
- [8] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015.05.16 pp. 183-188. ISBN:978-963-359-053-9
- [9] **GEORGE SEIFERTH:** *Hatásalapú információs műveletek*, 2005 (online) url: http://portal.zmne.hu/download/konyvtar/digitgy/nek/2005_4/03_seiferth.pdf (2016.11.29)
- [10] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei*, *Economica* (Szolnok) 2015: (4/2. szám) pp. 158-168.
- [11] **GLADE, D.:** *USAF "Unmanned Aerial Vehicles: Implications for Military Operations,"* Center for Strategy and Technology - Air War College-Air University-Maxwell Air Force Base, Alabama, US., July 2000. (online) url: <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/csat16.pdf> (2017.05.15)
- [12] **SZEGEDI P., TIRCSI H.:** *Nanotechnológia a katonai vezetés új kihívása?* *Hadtudományi Szemle*, 2017. X. évfolyam, 1. szám pp.: 491-505.
- [13] **İSA HASKOĞLU, A. ALPARSLAN EKER, ŞABAN ADANA:** *A Perspective of Applications of Unmanned Systems in Asymmetric Warfare*, *International Journal of Information and Education Technology*, Vol. 3, No. 6, December 2013, (online) url: <http://www.ijiet.org/papers/356-K3004.pdf> (2017.04.28)
- [14] **JAMES MADER, TOM SMITH, DAN DALEY:** *Asymmetric Warfare: The only thing new is the tactics*, Defense Technical Information Center, 2000, (online) url: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a433588.pdf> (2017.04.28)
- [15] **BARABÁSI A. L.:** *A hálózatok tudománya: a társadalomtól a webig*, 2006, (online) url: <http://epa.oszk.hu/00600/00691/00035/03.html> (2017.04.29)
- [16] **HAIG ZS., VÁRHEGYI I.:** *A cybertér és a cyberhadviselés értelmezése*, 2008. (online), url: http://www.zmne.hu/kulso/mhtt/hadtudomany/2008_e_2.pdf (2017.05.15)
- [17] **ROEY TZEZANA:** *The Little Military Drone that Could*, Posted on March 8, 2017. (online), url: <https://curatingthefuture.com/tag/robots/> (2017.05.15)

HÁZI GYÁRTÁSÚ FPV UAV

HOME-MADE FPV UAV

TAKÁCS Attila

Honvéd tisztjelölt, ati.takacs12@gmail.com
Katonai üzemeltetés, Nemzeti Közszerológati Egyetem

Kivonat: A publikációmaban ismertetem az általam megtervezett és megépített pilóta nélküli légi járműben felhasznált építőanyagokat, kamerarendszert és az összeköttetését a földi egységekkel. A cikk első részében a fedélzeti plusz teher súlya okozta szárnytöréseket orvosolom, amelyek a kutatás ideje alatt felmerültek. Új szerkezet és súlypontáthelyezés kiszámítása után kezdetét vette az építés. A végső forma megalkotása után kerülhetett a gépbe a kamerarendszer. A második részében az ultrarövid rádiófrekvencián lesugárzott jelek adásáról annak földi fogadásáról és mindazok problémáinak megoldása lesz látható. A továbbiakban műrepülésre is alkalmas a gép.

Kulcsszavak: UAV, kamera, FPV, modell-építés, légifelderítés

Abstract: In my study I am going to state the materials, camera-system and its connection with the ground units that I used in my UAV (unmanned aerial vehicle) planned and built by myself. In the first part of the article I am going to correct the wing-failures that emerged during my research caused by the extra load of the aircraft. After constructing a new structure and calculating to transfer the centre of gravity, the building began. After giving the machine its final shape, the camera-system was installed. In the second part of this article the giving and receiving of signals through ultra-short radio frequency will be shown as well as solving their problems. The vehicle is suitable for aerobatic figures too.

Keywords: UAV, camera, FPV, modell-building, air reconnaissance

1. BEVEZETÉS

A repülés iránti elköteleződéseim már egészen kis koromban megalapozódott. 2010 óta foglalkozom komolyabban a távirányítású modellezéssel, ezt megelőzően vitorlázó repülőgépen tanultam és szabadon repülő modell versenyeken vettem részt. Kezdetben a „hosszú antennás” 35-40 MHz frekvencia tartományban működtetett gépeken tanultam, majd a 2,4 GHz-es frekvencia sáv adta lehetőségek új kapukat nyitottak meg.

Az internetet kutatva akadtam rá az első olyan felvételekre, amelyeket sportkamerával egy modell fedélzetén készültek. Ez adta az ötletet, hogy ezzel a közvetlen környezetemben is körbe nézhetnék, madártávlatból szemlélhetném az eseményeket. Az első prototípusaim kudarcba fulladtak. Számításba kellett vennem nagyon sok általam kezdetben nem ismert tényezőt, mint például a kamera elhelyezése, kialakítása, vagy a súlypont, illetve a súlytöbblet következményeként szükségessé váló a szárnyak merevítését, stb. A problémák megoldásra vártak.

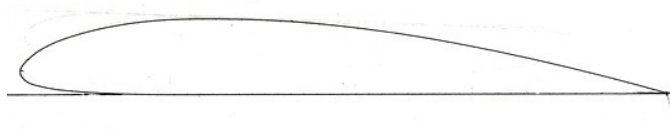


1. ábra: A megépített modell

2.ÉPÍTÉS

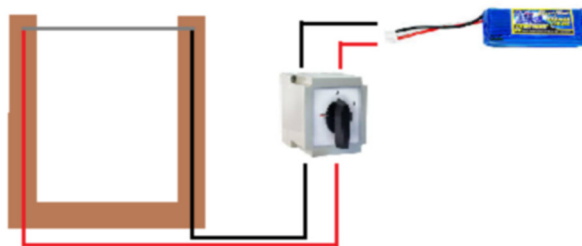
2.1 Új formatervezés

Az új szárnyaknak, könnyűnek (600 gramm) és nagy teherbírásúnak kellett lennie. Az elképzelésem szerint megépítettem egy fóliázott habmagos szárnyat, (2. ábra.) Fél szimmetrikus szárnyprofilt választottam, általános $1,5^\circ$ -os állásszögön, mert ezt relatíve könnyű volt legyártani, mivel egyik lapja egy egyenesre esik. Másik előnye, hogy nem hajlamos az átesésre [1].



2. ábra: Clark-Y típusú szárnyprofil

A szárny precíz legyártásához készítettem egy habvágót (3.ábra), amelynek a főeleme egy kifeszített kanthal huzal. Működési elve az, hogy a huzalon átfolyó áram, az ohm törvény értelmében, feszültséget hoz létre a vágó él kivezetései között. A kapsokon mérhető feszültség és az átfolyó áram hatására a huzal felmelegedik (a feszültség és áram szorzatával arányos a disszipált teljesítmény). A keletkezett hő kontrolálásával az eszköz alkalmassá vált precíziós vágások végrehajtására.



3. ábra: Kanthal huzalos habvágó

Kanthal, egy hétköznapi eszközeinkben, pl.: a hőszugárzóknak és hajszárítókban is felhasznált jó hővezető és ultra vékony huzal. A felmelegítése a keresztmetszet és a hossz függvényében nyilván változik. Az általam épített eszköz egy 12V-os transzformátorról működő 40 centiméteres kanthalt huzalból állt. A vágóeszköz alkalmazásakor nem volt szabad, hogy túlhevüljön a huzal, mert akkor elégeti a szárny alapanyagát, $80\text{ }^\circ\text{C}$ -on már olvadnak a polietilének így ennél a hőfoknál nem kellett lényegesen jobban felfűteni a vágóhuzalt. A szárnyprofilok képezik a legfontosabb részét a szárnyak legyártásának, így először azok legyártásával volt érdemes kezdeni. Habmagos szárny [1] esetén egy nagyobb hab tömb két végére kell helyezni a szárnyprofilokat. Több kisebb szárnyelem elkészítése után a széleken kell hagyni a szárnyprofilok egyikét, úgy, hogy két szárnyelemet egy profil kössön össze további súlycsökkentés érdekében. Ennél a folyamatnál csak hígító mentes ragasztó (nem marja a habanyagot) használata elégséges. A szárny kétharmadánál 100 centiméteres acél csövet raktam be és segéd tartónak 4 milliméter széles és 150 centiméter hosszú szénszálat. A szárny maga 1620milliméter így a belépőél teljes hosszában szénszálat erősítettem. A szárnytőnél 10 centiméteres sávban fa borítást tettem ahol a legerősebbek az erőhatások. Segéd tartónak két darab 100 centiméteres 3 milliméteres-es szénlap szolgál az élére fordítva. A vezérléshez 9 grammos szervókat szerkesztettem bele a szárnyba. Két darabot 10 centimétertől a csűrő felületektől, acél toló rudazattal bowdenes csatlakozással a

szervó kábelek végig vannak vezetve a főtartó mellett, majd Y-kábellel került összekötésre és a vevőbe vezetve. A művelet végén Oracover vastag fóliát vasaltam a szárny teljes felületére. Ez áramvonalasabbá tette a szárnyat, mert nem a vágott hab érdes felülete érintkezik a levegővel, hanem egy simább felület. A valóságos repülőknél nagyobb terhelést kaphatnak ezek a gépek (közvetlen emberi pilóta irányítása hiányában). Az alábbi (1) képlet segített a repülés közben fellépő gravitációs terhelés számolására. Az 1500 grammos gép $39,27 \frac{km}{h}$ -val haladva 14 méteres sugáron fordult 180° -ot. Így 8,5 G erőhatást sikerült produkálnom, melyet többszöri ismétléssel is felmerülő probléma nélkül bírt. Ennél a manővernél a szárnyaknak 12,75 kilogrammos terhelést kell elviselnie. A szárnyterhelhetőség súlyokkal sikerült lemodellezni.

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

ahol:

a - a nehézségi gyorsulás (G)

v - a repülőgép sebessége ($\frac{m}{s}$)

r - a fordulási sugár (m)

A súlypont áthelyezése is kulcsfontosságú szereppel bírt. A választás a felső szárnyas gépre esett. Ennek a konstrukciónak a súlypontja nem a főtartóval esik egy tengelyre, hanem alatta található, hasonlóképpen szolgál ez a helyzet, mint vitorlás hajók alján lévő tökesúlyra. A törzs kialakításánál sok szempontot figyelembe kellett venni. Első helyen az szerepelt, hogy el kell férnie benne az elektronikának és egyéb kiszolgáló egységeknek, amelyekhez könnyen hozzá lehet férni az esetleges probléma vagy variálás érdekében. Készült a géphez egy 3 milliméteres vastagságú műgyanta kompozit kabintető, megszabadulva a 1,5 centiméteres hab kabinfedőtől. A szárny-törzs összefogatásánál műanyag csavarokat alkalmaztam, amelyek fém anyába csatlakoznak a törzsbe. Kettő a belépőél felől és egy a kilépőélnél a motortartó alatt. A választásom azért esett a műanyag a csavarra mert, az a becsapódás pillanatában elpattan, így nem sérül a gép többi része. A műanyag csavarok 10 centiméter hosszúak és kézzel behajthatóak ezzel minimálisra csökkentve az összeszerelés idejét. A csavarok mentén fenyőfa betétek vannak, hogy a szorítóerő ne rongálja a habot és nagyobb felületen oszlassa el az erőt. A törzs teljese egészében üreges és szénlapok merevítik az összekötéseket. A hasi oldalon végig egy élére állított fenyőléc fut az oldalmerevítés részeként. A futómű helyettesítésére szolgál egy hő hajlított átlátszó műanyag lap melynek orr felőli végződése a törzshöz van csavarozva a másikon pedig rúgók, találhatóak. Ezek a rúgók kinyújtott állapotban taszítják, a műanyag lapot a törzstől leszálláskor azonban elnyelik az energiát [2]. A kerekek hiányában áramvonalasabb lett a szerkezet. A motor kialakítása szempontjából a szárny tetején a kilépő élnél helyezkedik el. Több okból kifolyólag. Elsősorban a gép kamerázásra lett tervezve így a légcsva forgása nem rontja a képet, mint az orrmotoros gépek esetében. Másodszor a leszállásnál nem kell a futómű által megemelt hely a légcsvának így az egész gép áramvonalasabb és modernebb lett. Egy problémája akadt a toló motornak, hogy az erő vektorja nem párhuzamos a gép vízszintes tengelyével így nagyobb gázadásnál lefelé nyomja a gép orrát és süllyedni kezd. Ezt úgy sikerült kiküszöbölni, hogy a magassági szervóval össze lett hangolva a motor ennek köszönhetően gázadásnál automatikusan emeli a gépet így tartva egyenesben. A meghajtást egy 80grammos 362 Wattos Turnigy motor biztosítja. Az energiahordozó felszerelés cél szerint módosítható. Ha csak megfigyelés szempontjából hajtok végre repülést, tehát nem készül rögzített felvétel, hanem csak azonnali összeköttetésben látom, a monitoron akkor 2db 11,1V-os 2620Mah-s akkumulátort rakok a törzsbe, ami 40 percre elegendő. Vagy egy darab 5200 Mah-s nano technológiás akkumulátort melynek súlya kevesebb, mint az előző két energiahordozónak együttvéve. Ha rögzítő képes kamera van a fedélzeten, akkor csak egy darabbal startol a gép.

A súly kiegyenlítése és a motor teherbíró kapacitásából kifolyólag úgy lett kialakítva, hogy maximum akkucellákkal 40 perces repülési időt garantál, de ha célrepülést akarok más fedélzeti eszközökkel (kamera, autópilóta) akkor csökkentenem kell az akkuk számát. A hasznos teher 500-850 gramm között mozog, ami a gép össztömegének 45 %-a. És egy komolyabb digitális kamerát is képes a levegőbe juttatni.

2. FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK

2.2. EPP

Ez a legkiválóbb modellező hab. 5000-3000 Ft/m². Elképesztően rugalmas a „törhetetlen hab” nevezőt használják rá. Apró szemcsés így szikével és habvágóval egyaránt könnyű megmunkálni. Hőre érzékeny. A felülete a legtöbb ragasztóval ragasztható (hígító marja). Strapabíróak és könnyű a javításuk.

2.3. Balsafa

A legkönnyebb fafajta a világon. Dél-Amerikában őshonos. Lyukacsos szerkezetének köszönhetően könnyű vele dolgozni. Szikével, modellező késsel munkálható, de habvágóval is munkálható a habéhoz képest nagyobb feszültséget igényel (szélességétől függően). Nedves időjárásban óvni kell, nagyon hamar megszívja magát vízzel és rothadásnak indulhat. 10 év alatt a repülőgép teljes balsa vázát cserélni kell, ha sokat van használva a gép és nincs külsőleg lemazolva.

2.4. Kompozit anyagok

A műgyantával erősített üvegszövet, szén és rovin szövet kétségtelenül a súlyszakítószilárdság arányában a legmegbízhatóbb anyagot alkotják. Ezeket az elemeket a többiekkel ellentétben nem formára vágják vagy alakítják, hanem kész elemként legyártják (laminálják). A kompozit modulok elkészítését még sok tényező előzi meg. Első a hőmérséklet. 18-20°C alatt a műgyanta nem köt ki megfelelően és egy ragacsos, nyúlós anyag keletkezik. Második a gázvesztély, ezek a kémiai anyagok reakciójuk során nagy mennyiségű mérges gázt termelnek. Szabadban és megfelelő gázálarccal és szűrőbetéttel lehet csak használni úgy, hogy a környéken se állat se ember ne tartózkodjon minimum 100 méteres körzetben. Harmadik hogy a formaöntést megelőzően a pozitív vagy negatív elemre először formaleválasztó anyagot kell felvinni. Ezt követi a poliészter. Ezek megszáradása után kerülhet fel az első üveg szövet réteg. Műgyanta felvitele után jöhet csak a következő réteg, amelyet levegő mentesen kell felvinni. Fontos, hogy három rétegnél egyszeri alkalmazásnál nem lehet többet felvinni ugyan is az alsóbb rétegek a nagy hő keletkezéséskor eléghetnek. Ha háromnál vastagabb réteget akarunk felvinni 40 óra elteltével formaleválasztó és gél nélkül folytathatjuk a gyártást hisz a gyanta felmarja a legfelső réteget. Az elkészült elemek hihetetlen erőnek örvendhetnek, versenyzők használják, ahol a modellnek komoly fizikával kell megküzdenie. Az így elkészült kabintető a teljes testsúlyomat elbírta.

3.FÖLDI ÖSSZEKÖTTETÉS

3.1 Adó egység

Ez az elem generálja és az antennán keresztül rádiójelen továbbítja a parancskódokat. Amit a vevő érzékel és továbbítja a végrehajtó egységeknek. (szervó, motor). Nem csak

aszimmetrikus adatközlés létezik, az elkészített modellben is elhelyezkedik egy telemetriás egység, amely adatokat közöl a távirányítónak (akku feszültség, magasság, sebesség). A távirányítónak sok paramétere létezik, melyek behatárolják helyüket a modellező körökben. Ilyen például a legfontosabb, hogy milyen frekvencián sugároz. Az ultrarövid frekvencián sugárzott jelek előtt középhosszú hullámok voltak elterjedve a modellezésben. Ilyen volt a 35-40 MHz tartomány között áramló 1000m-es hullámhosszon haladó jelek. Ezek jóval megbízhatóbbak voltak, mint a mai darabok. Könnyebb volt őket zavarni és egyszerre csak egy gép lehetett a levegőben másképpen interferálódtak volna a jelek. A kristályrezgéses technológia javított az jelzavarok ellen, de a 300-400 méteres hatótávon nem tudott változtatni. A hullámhossz nagysága miatt hosszú több, mint egy méteres antennák voltak az adóban és vevőben is egyaránt. Komoly probléma volt vele, hogy széles időben kockázatos volt a használatuk, ugyanis több volt az idő, amíg az adatot feldolgozta egy időben a vevő, mint egy leszállás során hirtelen felmerülő széllekedések által okozott irányváltoztatások. A technika és az adatátvitel felgyorsulásával kénytelen volt váltani a modellező világ birtokba vette a Wi-Fi és sok sugárzó által használt 2,4 GHz ultrarövid frekvenciát. Kezdetben illegális, majd a sikerességének elterjedésével kiharcolta a használhatóságát ez a frekvenciatartomány. Nagy mennyiségű adat közlése lett elérhető így valamint a telemetria is életbe lépett. Gyárilag 1-1,5 km-es hatótávot tett lehetővé az 1 méteres intenzívebb hullámhossz. Nagyobb foton energiával rendelkeztek ezek a készülékek ennek következtében a ceruzaelemeket váltották az adó akkumulátorok is. Bármennyi gép lehetett egyszerre a levegőben, mert ha egyszer összekapcsolt (blindeltük) a vevővel onnantól kezdve automatikus kódolta magát és nem tért el az adott frekvenciától. Erre akkor is képes, ha olyan gépünk van, ami rendelkezik gépmemóriával. Tehát például 10 modellünk és hogy ne kelljen ki-be szerelni a vevőket ezért mindegyikbe külön, de kompatibilis vevő van. Ezeket össze blindeltük már ebben az esetben 10 különböző kódolást alkot a gép. A hatótáv külső antennákkal 10-100 km-re is növelhető lett. Az ilyen típusú lap antennákba „tracker” van beprogramozva így GPS jelek alapján követi az antenna jelsugárzó felületét és állítja gép felé automatikusan. Rövid alig 10 centiméteres antenna kell valamint a vevőn minimum 31 milliméteres szabad rádió vég kellett. Második fontos eleme a távirányítónak, hogy hány csatornán tud adatot átvinni. A csűrő kihasználásához minimum 4 csatornára van szükségünk. Utána jönnek a további, de plusz moduloknak helyet adó, plusz csatornák. Ezekre lehet rákötni a világítást, fékszárny, ívelőlap, futómű és a kamera mozgató szervókat, giroszkópot is. A kormánysszervek és kapcsolók között helyezkednek el a trimmelő gombok. Előfordulhatnak analóg vagy digitális trimmelők is. Arra szolgálnak, hogy az esetleges finomra hangolásokat elvégezzék (expo). Be lehet állítani az adott kitéréseket úgy, hogy nem kell a kormánysszerveket mozgásra bírni. Az analógok esetén egy keretben lehet egyik vagy másik irányba eltolni a trimmet ez azonban véges, ezért ha a gépünk még maximális trimmelés esetén is az adott irányba fordul vagy emelkedik, süllyed akkor csak a gép tolórúdjaiban, bowdenein vagy súlyelosztásán tudunk csak állítani. Digitális esetén ez a szervók teljes mozgás tartományában lehetséges valamint egyéb tényezőket jel gyorsaság valamint reagálás ideje kitérését is be lehet állítani. Ez az ívelőlapok bekötésénél elengedhetetlen, hogy a beérkező jelet lassabban váltsa át mozgássá, hogy az áramlásnak a szárny körül legyen, ideje átállni ne pedig leváljon róla.[3] Fokozatok szerint be lehet állítani valamint ha, van a gépünkbe sebességmérő az esetben a beállított sebesség elérésekor a kellő szintű fékszárnyat hozza mozgásba. A digitális rádiók jóval több mindenre képesek, mert telemetria esetén szimmetrikus adatszolgáltatást hoz létre. Külön beállíthatunk mindent az egyes szervók pontos kitérésétől kezdve a drónok autópilótáját is telepíthetjük ezekre a platformokra. Ha a teljes hatótávot (1-1,5 kilométer egy átlagos modellt ezen a távolságon kívül szabad szemmel nem láthatunk (általános megállapítás)) meghaladó távolságon tovább szeretnénk repülni kamerával akkor külső modulra, lesz szükségünk. Ezek

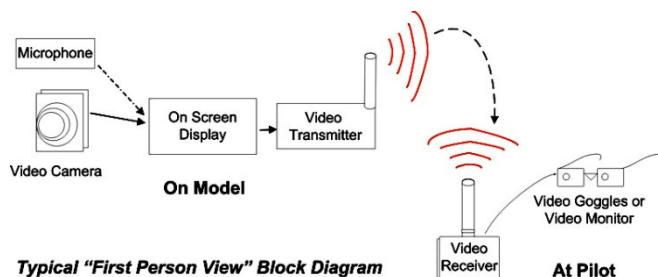
a lényegében nagyméretű antennák a vele összekapcsolt rádiójelet erősít akár 10 kilométerre is.

3.2 Vevő egység

A távirányítóból érkezett jelet fogadja és alakítja át valamint ő is adatot küldhet a távirányítónak. A vevő a gépben utazó elektronika feje és csúcsszerve. A szabályzó és az összes szervónak itt van a foglalata. Innen történik az feladatkiosztás. Ha Gyro stabilizátort kötünk be a gépbe abban az esetben a szervó végeket közvetlen a gyroba kell kötni és a gyroból apa szervó kábelrel a vevőbe. Így gyorsabban tud reagálni a külső behatásokra a stabilizátor, mint ahogyan megkapná a jelet az adóból. Ezt a rendszert az épített gépembe is beleszereltem így szelesebb időben sem jelent problémát a repülésbiztonság.

3.3 FPV rendszer

Fligh Person View (4. ábra), tehát pilóta felőli nézet. Így nevezik, amikor a modellgépre kamerát helyeznek, majd azt annak segítségével irányítják. Miután egyre több kisméretű sportkamera került forgalomba. Kezdetben a kamerát tették a gépre elindították a felvételt és leszálláskor gyönyörködtek a madártávlat szépségeiben. Következő lépcső az volt, hogy ne



csak a leszálláskor láthassuk, milyen más

4. ábra: Általános FPV rendszer összekötése

világot rejt a magasság, hanem élőben közvetlenül a látottak behatásával nézzünk szét. Egy ilyen platform hasonlóképpen működik, mint a távirányító-vevő közti kapcsolathoz. De ebben az esetben a repülőn van az adó és földön a vevő valamint a vevőből érkezik, csak a jel az adó nem kommunikál a vevővel csak fogad.

3.4 Kamera

Feladatuk az objektíven keresztül érkező fényt digitális jellé alakítani. Típusoktól függően lehetnek könnyebb-nehezebb kamerák, de az esetek többségében csak egy áramkörre forrasztott mini kamera. Minőségében nincsenek nagy eltérések WGA általában 800x400 képpontos közvetítést nyújt ez a maximális felbontás, amit közvetlen élőben át lehet sugározni nagy távolságban is. Halszem optikás széles látómezejű kamerák. Az árak főként az ISO fényérzékenységben mutatkoznak meg valamint abban, hogy CCD vagy a gyorsabb CMOS. CCD kamerák szekvenciálisan adják át a jeleket így pixelhiba esetén megszakad az adattovábbítás és egy egész képsor tűnik el. CMOS kamera esetében pixelenként történik a ledolgozás, így ha hiba is merül fel (feszültségingadozás) akkor is csak egy pixel tűnik el a képernyőről. A stabilizálást és kameramozgatást gimbalokkal lehet kibővíteni.

Go Pro kamerák: A legkisebb méretű Hero Sessiont és a fejlettebb Session 5 sportkamerák használhatóság szempontjából tökéletesnek bizonyultak. Ezek a 74 grammos kamerák Full

HD vagy 4K –s minőségben képesek rögzíteni és távvezérléssel el lehet indítani vagy állítani a videót. Hátrányuk, hogy nem fókuszálhatóak.

3.5 Adó

A géppel utazik kisméretű áramkör. Hozzá csatlakozik az akkumulátor és az antenna. Ez a modul alakítja át a kamerából kapott képet digitális jellé és mikrohullám formájában az antennán keresztül továbbítja a földre.

4.VIDEÓJEL FOGÁSA

Vevő: A földi állomásnál elhelyezett elem. A videó jelet az adott csatornán fogja be és továbbítja a monitorra vagy az FPV szemüvegre. Sok változata van, 8-32 csatornán lehet vele variálni. 25-2000 mW –el tud jelet fogni (minél nagyobb annál messzebb). Akár több antennával is fel lehet szerelni, így ha az egyikről elveszik, a jel automatikusan átkapcsol a másikra (diversity rendszer), kombinálhatjuk is az antennatípusokat. Például azonos csatornán üzemelhet egy horizontálisan sugárzó, egy vertikálisan sugárzó botantenna és egy minden irányba sugárzó gomba antenna így a repülőgép helyzetétől függően a legalkalmasabb legjobb minőséget tud nyújtani. Már elérhető a HD minőségben való közvetítés az adott pillanatban késedelem nélkül (Connex HD). Ehhez nyilván HD kamera is szükséges. Az általam használt Cyclops FPV szemüvegben beépített 40 csatornás vevő van és 600mW-os teljesítménnyel sugárzó adó-vevő páros. Ha a célterület felett fixálni akarnánk a kamerát akkor a „head tracker” modul megengedi ,hogy a szemüveg térbeli mozgásával egyaránt mozogjon a kamera amely a szemüvegben és a repülőben giroszkópon keresztül érzékeli a helyzetváltozást és az alapján mozgatja a szervókat amik a kamerát tartják.

4.1 Antennák

FPV felhasználás során 3 fő antenna típus van. A botantennák a legegyszerűbb szerkezetű antennák, gyári felszerelésekhez ajánlják 100-200 méteres hatótávval. Közepesen zavarható a kibocsátott jele (bokor, fa „hangyásítja” a jelet). Egy 8 vagy 13dbi-s patch antenna jobban viseli a tereptárgyak jelzavaró tényezőjét, hátránya viszont, hogy ezek nagyjából 70-90 fokban "látnak" tehát ha ilyeneket használunk és szemüvegre nem szabad kirepülni a látószögből.[4] Körkörös polarizált antennák a gyakorlatban bevált megbízható jeltovábbítók. Nincsen látómezeje és terepelemekkel is megbirkózik. Fontos megemlíteni a Yagi antennákat, melyek méretük és teljesítményük alapján a földi állomások meghatározó eleme.

ÖSSZEGZÉS

Kutatási területem egy olyan UAV volt, amelyet otthoni körülmények között komoly mérnöki végzettség nélkül tapasztalati úton meg lehet építeni. Valamint az építéshez szükséges eszközök és építési módok fejlesztése. Az UAV megépítése után pedig a felhasználási cél meghatározása a kamerás élőképes megfigyelés volt. Ezt a szükséges információk és elektrotechnikai ismeretek megalapozása után tettem működő képessé és hatékonyá. A további fejlesztéseim a levegőben töltött idő növelése volt, ezt a modern akkumulátorok cellánként felosztása volt, melyben a hasznos terhet toltam a maximumra ez azt eredményezte, hogy kameratípustól függően lehet állítani az Li-Po-k mennyiségét. 40 perces üzemidőt tettem lehetővé közben folyamatos és zavarmentes összeköttetésben, mint videojel,

mint rádióirányítás dimenzióját tekintve körülbelül 1km-es hatótávon. A következő kutatásom területe ennek a hatótávnak a megnövelése akár 25km-re, ezt komoly jelerősítő földi állomás megépítésével tervezem megvalósítani. Valamit autópilóta beépítése és programozása.



5. ábra: FPV modell a levegőben-földön

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] **HÁRSFALVI S.:** *Repülőmodellezés I.*, Navigátor kiadó, 1994
- [2] **VÖRÖS G.:** *Repülőgép szerkezetek és rendszerek I.*, Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóság, 1995, 104. oldal, E. simi csillapítók
- [3] **JEREB G.:** *Aerodinamika és repüléselmélet I.*, 4. kiadás, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987, 112. oldal
- [4] **FPV RACE HONLAPJA:** <http://www.fpvrace.hu/2015/10/fpv-alapok-1-adok-vevok-antennak.html>

KÜLÖNBÖZŐ GYÁRTÁSI FELTÉTELEKKEL ELŐ ÁLLÍTOTT EVA KOPOLIMEREK SZERKEZETVÁLTOZÁSAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA FTIR, DSC ÉS DMA MÓDSZEREKKEL

TAMÁSI Kinga¹, HORVÁTH Balázs², ZSOLDOS Gabriella³

¹Ph.D. hallgató, ME-MAK; KPI Intézet; polkinga@uni-miskolc.hu

²BSc 3. éves hallgató, ME-MAK; balazshorvath1995@mail.com

³Adjunktus, ME-MAK; KPI Intézet; femzsgab@uni-miskolc.hu

^{1,2,3}Miskolci Egyetem, Kerámia és Polimermérnöki Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Munkánk elsődleges célja két különböző EVA kopolimer granulátum „előéletének” vizsgálata és modellezése volt termikus illetve felületvizsgáló berendezésekkel (DSC, DMA és FT-IR). A DSC vizsgálat során kiderült, hogy a két granulátum között valóban jelentős szerkezetbeli és feldolgozási eltérés tapasztalható, szemben az FT-IR, DMA vizsgálatokkal.

Kulcsszavak: EVA; kopolimer; DSC; DMA; FT-IR

Abstract: The primary purpose of our work was to examine and model the „antecedent” of two different EVA copolymer granules with thermal and surface detection devices (DSC, DMA and FT-IR). In the DSC study, it was found that there was indeed a significant structural and processing difference between the two granules, compared to FT-IR and DMA tests.

1. POLIMEREK AZ ORVOSTECHNIKÁBAN

Az orvostechikában használt anyagok több, mint 50%-a polimer és műanyag. A fejlődést ezen a területen nem a mennyiségi növekedés jelenti, hanem az új anyagok és technológiák bevezetése, a miniaturizálás és a nanotechnológia. Az orvostechikai alkalmazásokban jól ismert műanyagok, mint például az EVA, PC, PEI, PES, PSU, napjaink legkeresettebb alapanyagainak számítanak, a részesedésük jelenleg kb. 50%-ra becsülhető a világon. Németországban 2006-ban kb. 12 000 tonna műanyagot dolgoztak fel ilyen célra (csomagolóanyagok nélkül). A világ orvosi célú műanyag-felhasználása megközelítette a 2 millió tonnát, amely ugyan a világ összes műanyag-felhasználásának alig több mint 1%-a, de növekedési üteme jelentős.

Ezen belül a felhasználás mintegy 80%-a tömegműanyag (PE, PP, PS és PVC), a többi műszaki műanyag (PV, PA, PUR, PET, ABS stb.), ahol a PE és a PVC felhasználása a legjelentősebb (mindkettő közel 30%), ebbe beletartozik a gyógyszerészeti és higiéniai alkalmazásokat is. A PVC rovására az utóbbi években gyorsan terjednek a különböző EVA, PP és TPE típusok, ugyanis bizonyos az előírt fizikai, mechanikai és biológiai tulajdonságok érvényesülése mellett rendkívül fontos, hogy a polimerekből készült eszköz vagy gyógyászati anyag megfelelően sterilizálható és fertőtleníthető legyen. Ez a gyakorlatban olyan hő-, vegyszer- és sugárállósági követelményt jelent, ami egy hasonló mechanikai igénybevételű általános anyagnál nem jelentkezik, természetesen a polimerekkel szemben támasztott különleges követelmények nem egyformák minden esetben, jelentős mértékben függenek az adott anyag típusától és a termék felhasználásától is.

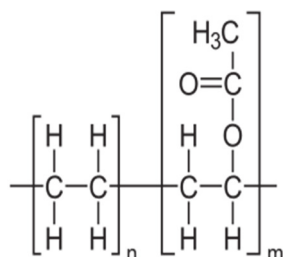
A hőre lágyuló elasztomerek (TPE) és ezen belül az EVA- megfelelnek a követelményeknek, tehát nem tartalmaznak sem latexet, sem PVC-t és olcsóbbak a szilikonoknál. Jól szigetelnek, ráfröccsöntés során jól tapadnak más műanyagokhoz (például a PP-hez), illetve további előnyük az, hogy könnyen és változatosan színezhetők. Léteznek ma már olyan polimer ötvözetek, amelyek kitűnő gáz- és vízgőzzáró tulajdonságokkal rendelkeznek – ez különösen gyógyszerészeti csomagolásoknál (pl. infúziós zsákoknál) vagy lég- és vízgőzzáró szeptumok gyártásánál fontos. Ezeknek a speciális típusoknak az

oxigénáteresztő képessége $\frac{1}{2}$ -e, $\frac{1}{4}$ -e vagy akár tizede is lehet a közönséges típusokénak, a vízgőzáteresztés pedig mindössze 2–3,8 g/m² /nap 38 °C-on, 100% relatív páratartalom mellett [1, 2]. Ez a hagyományos csomagolóanyaghoz képest 2–5-szörös javulást jelent.

Ezek az ötvözetek könnyen dolgozhatók fel fröccsöntéssel, extrúzióval vagy fúvással, és jelenleg 40 és 90 Shore A keménység-tartományban vannak jelen a megfelelő típusok. A TPE-k alkalmazásának egyik legfontosabb célja, hogy lágy tapintást biztosítsanak a termék felszínén, ugyanakkor a sterilizálhatóság és az FDA megfelelés mellett fontos a kis súrlódási együttható és az áttetsző jelleg [3]. Ez a rövid áttekintés talán érzékelteti, hogy az EVA milyen gyorsan fejlődő anyag felhasználási, gazdasági és műszaki szempontból egyaránt, és milyen széles tulajdonságspektrumot igényel az alkalmazása.

2. AZ ETILÉN-VINIL-ACETÁT (EVA), MINT BOKOPOLIMER

Az EVA (etilén-vinil- acetát) az egészségügyben egyre szélesebb körben alkalmazható, kezdetben gyógyszerhordozóként, és fóliaként használt kopolimer (1. ábra). A kopolimert alkotó vinil-acetát tartalom 10 és 40 % között változhat. Szerkezete 40% vinil-acetát tartalom alatt termoplasztikus jellegű és részben kristályos, 80% felett teljesen amorf szerkezetű. A vinil-acetát tartalom növekedésével csökken a keménység és a szakítószilárdság, valamint a poláris oldószerekkel szembeni ellenállása [1]. Hőállósága nagy, üzemeltetési hőmérséklete igen magas. Az alacsony üvegesedési hőmérséklet (-36-0 °C) miatt alacsony hőmérsékleten kedvező fizikai és mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Napjainkban egyre szélesebb körben alkalmazzák, például csövek vagy fóliák formájában. A feldolgozási körülmények minden esetben hatással vannak a molekula szerkezetére és a mechanikai tulajdonságaira is.



1. ábra. Az EVA monomerjének szerkezeti képlete

2.1. Az etilén-vinil-acetát előállítása

Az etilén és vinil-acetát gyökös polimerizációja már 1938 óta ismert, a polimerizáció hőmérséklete 90°C, míg az alkalmazott nyomás elérheti az 1000 bar-t. A reakció inicializálása peroxidok, hidroperoxidok, perészterek, illetve azo-vegyületekkel történhet. Az alkalmazott iniciátor fajtájának függvényében állíthatók be a polimerizáció paraméterei (hőmérséklet, tartózkodási idő). A polimerizáció paraméterei nagymértékben befolyásolják a termék tulajdonságait. Laboratóriumi kísérletekben vizsgáltak fémorganikus, ródium (III)-triethyl-alumínium-klorid komplexeket is. Az EVA kaucsuk ipari méretben három eljárással állítható elő, nagynyomású eljárás, oldószeres eljárás, illetve emulziós eljárás segítségével.

2.1.1. Emulziós eljárás

Emulziós polimerizáció során a monomert vízben feloldják abból a célból, hogy elkerüljék a kötés felszabadulásnál fellépő túlzott hőhatást. A polimerizációhoz szükséges iniciátort a víz tartalmazza, így alkotva ezzel emulziós elegyet. A folyamat a szuszpenziós polimerizációval ellentétben, nem igényel állandó keverést, mert a diszpergált cseppek mérete kisebb, mint 1 mikrométer. Az emulziós folyamat három lehetséges módon bontható:

- a pH megváltoztatásával,
- kisózással, és

- mechanikai igénybevétellel.

2.1.2. Nagynyomású eljárás

A nagy nyomású vagy „bulk” eljárás folyamata hasonló az alacsony sűrűségű polietilén (LDPE) előállítási eljárásához. Az oldószer felhasználása nélkül megvalósított polimerizációs folyamat hőmérséklete 150-300°C, míg az alkalmazott nyomás 1000-3000 bar. Első lépésként a stabilizált vinilacetátot összekeverik az előhűtött, 100-500 bar nyomással komprimált etilénnel. Az így összekevert monomer áramot kevert autoklávba vagy csőreaktorba vezetik, ahol a nyomást beállítják a polimerizációs reakció végső nyomására. Az iniciátor oldatot ezt követően adagolják, amennyiben az eljárás során láncátvivő ágenszt is alkalmaznak (például keton, aldehid), akkor az ugyanebben a lépésben történik meg. A konverzió 10-20% a monomerekre vonatkoztatva. A reakcióelegy fokozatos nyomásmentesítése után a következő lépés a reagálatlan monomereket elválasztják a polimer olvadéktól, majd visszavezetik a reakcióba. A polimer olvadékot hűtik, majd pelletizálják. A vinilacetát monomer a láncszabályozó, láncátadó tulajdonsága miatt befolyásolja a keletkező polimer molekulatömegét. A monomer koncentrációjának növekedésével az átlagos molekulatömeg csökken. Az ezzel az eljárással előállított EVM kaucsukok vinilacetát tartalma alacsony, megközelítőleg 45 tömegszázalék, míg a Mooney viszkozitása 15-20 egység [1].

2.1.3. Oldószeres eljárás

Az oldószeres eljárásokban a polimerizáció hőmérséklete 50-120°C, míg az alkalmazott nyomás 200-1000 bar az alkalmazott eljárástól függően. A polimerizáció során tercier-butanol, benzol, toluol, metil-acetát, metanol vagy dialkil-szulfidok lehetnek az alkalmazott oldószeres. Az eljárás fő előnye, hogy a termékek gélmentes kopolimerek, valamint a Mooney viszkozitásuk is magasabb, mintegy 20-35 egység. Az oldószeres eljárással magas vinilacetát tartalmú polimerek állíthatók elő, a vinilacetát tartalom széles tartományban változhat (40-80 tömegszázalék). A polimerizációs lépés kevert reaktorkaszkádban 50-70%-os konverzió mellett játszódik le. Az ezt követő lépés az oldószer és a reagálatlan monomerek eltávolítása. A befejező eljárásban a polimer terméket pelletizálják (2-4 mm), valamint a pelletizált anyagot bevonattal látják el a részecskék összetapadásának csökkentésére [1].

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A termikus analízis az általános elnevezése azoknak a vizsgálati módszereknek, amelyek egy anyag, egy keverék és/vagy reakció keverékek jelentősebb fizikai és kémiai tulajdonságát határozzák meg a hőmérséklet vagy az idő függvényében:

- Entalpiaváltozás (dH),
- Tömegváltozás (dm),
- Méretváltozás (dL),
- Viszkoelasztikus tulajdonságok változása (E).

Az ilyen típusú vizsgálatok egyaránt alkalmasak a hőre lágyuló-, keményedő műanyagok, festékek, elasztomerek, gumik és adalékanyagok ellenőrzésére egyaránt. Legfontosabb termoanalitikai módszerek általános csoportosítása a polimertechnikában:

- Differenciális pásztázó kalorimetria (DSC),
- Termogravimetria (TG),
- Termomechanikai/dinamikus termomechanikai analízis (TMA, DMA),
- Gázanalitikai kapcsolt technikák ill. felületiek (TA-MS, TA-FTIR), ahol az alábbi mérhető, anyagra jellemző hőmérsékletek a(z):

- T_g (üvegesedési hőm.),
- T_{olv} (olvadási hőm.),
- T_m (olvadáspont),
- T_{ox} (oxidációs hőm.),
- a tömegváltozás (Δm),
- az átalakulási entalpia (ΔH),
- a fajhő (C_p), és a
- hőtágulási együttható (λ) lehet [4, 5].

3.1. A FT-IR spektroszkópiás vizsgálat

Az infravörös spektroszkópia (IR) az utóbbi 70 év leggyakrabban alkalmazott anyagazonosító módszerré vált. Az FT-IR spektroszkópia működési elve, hogy a molekulákat felépítő atomok a molekulán belül egymáshoz képest rugalmas módon mozdulhatnak, kötéseik mentén rezeghetnek, hosszabb molekulák hajladozhatnak, kötéseik körül elfordulhatnak. Ezek a mozgások kvantáltak, tehát határozott energiaadagokban történhet csak meg a változásuk. Ezek a kvantumenergiák a különböző infravörös sugárzás fotonjainak energiájával egyenlők. A periodikus mozgások frekvenciája és energiája elsősorban a részecskéket összekötő erőtől, és kémiai kötés típusától és a mozgásban résztvevő részecske tömegétől, vagyis atomtömegétől függ.

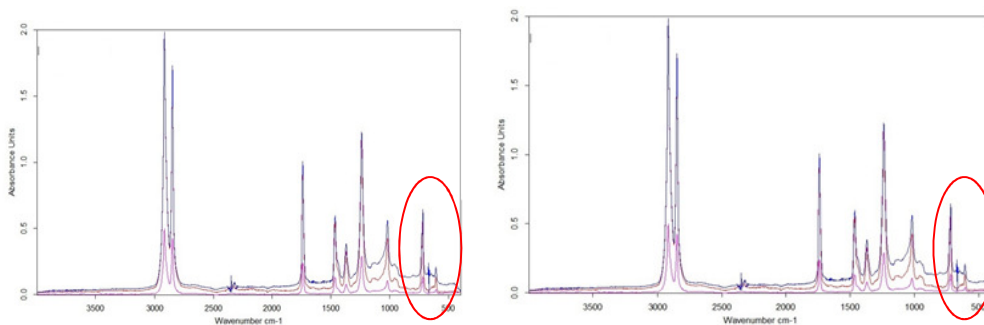
$$E = E_{el} - E_{vib} - E_{rot} \quad (1)$$

ahol: E_{el} ...az elnyelt energia mennyisége [J/mol],
 E_{vib} ...a vibrációs energia mennyisége [J/mol],
 E_{rot} ...az atomok rotációs energiájának mennyisége [J/mol].

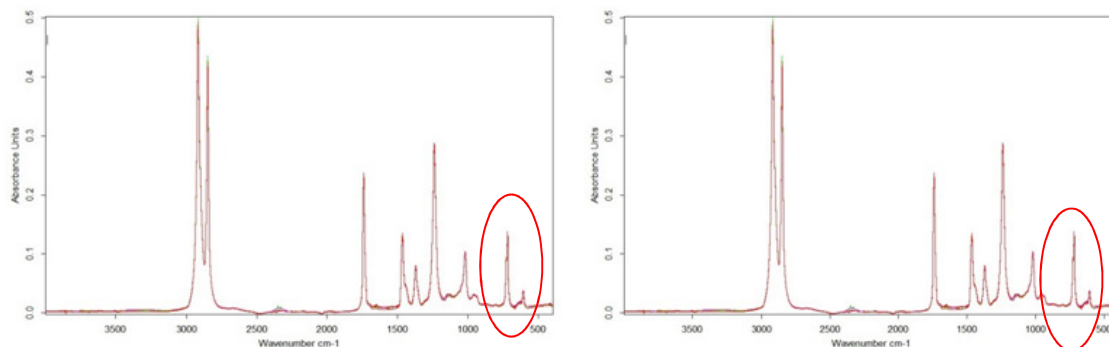
Ennek alapján az adott atomok között létrejövő kötéstípusokhoz néhány karakterisztikus jellemző energia tartozik, és amelyeket az infravörös technikával detektálhatunk. A mérést általában abszorpciós módon végezzük, azaz egy külső infravörös sugárforrás fényét vezetjük át a mintán, majd egy detektor segítségével észleljük a fényintenzitást. A molekulán belüli kötésekkel rezonáló infravörös kvantumokat az anyag elnyeli és ott az infravörös fényintenzitás csökkenését tapasztaltam. A mérés megvalósítható a Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia alkalmazásával, amely nagyobb fényereje és felbontása miatt előnyös. Itt az infravörös sugárzást egy interferométerbe vezetjük, amely azokat a sugarakat erősíti, melyeknek hullámhossza az optikai úthossz egész számú többszöröse, a többi sugarat gyengíti vagy elnyeli. Folyamatosan változtatva az interferométer optikai úthosszát a hullámhossztartományt végigpásztázzuk.

3.1.1. A FT-IR vizsgálat eredményei

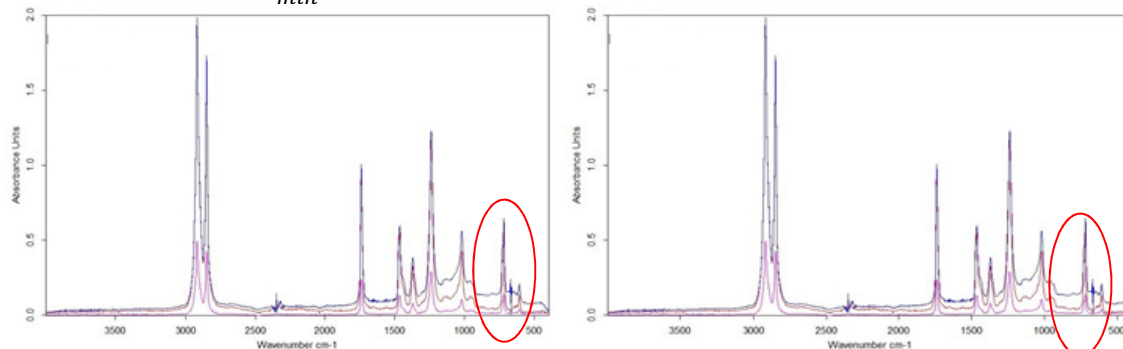
Az FT-IR spektroszkópiás vizsgálatok során tehát az látható mind a három összehasonlító diagrampár esetén, hogy a spektrumok nem mutatnak számottevő különbséget az anyagok között (2,3,4. ábra). A görbék között nem látható lényeges eltérés, illetve az elvárásaimnak megfelelően az acetát oldalcsoportok rendre a $600 \frac{1}{cm}$ –es hullámszám értéknél jelentkeztek, némi CO_2 jelenlétében. Ebből arra következtettem, hogy a felületi kötések és az oldalcsoportok elhelyezkedését nem befolyásolta a csigafordulatszám, és a hőmérséklet értékek megváltozása.



2. ábra. A $20 \frac{1}{\text{min}}$ fordulatszámon előállított minták összehasonlító FT-IR spektruma



3. ábra. A $40 \frac{1}{\text{min}}$ fordulatszámon előállított minták összehasonlító FT-IR spektruma



4. ábra. A $60 \frac{1}{\text{min}}$ fordulatszámon előállított minták összehasonlító FT-IR spektruma

3.2. A DMA vizsgálat

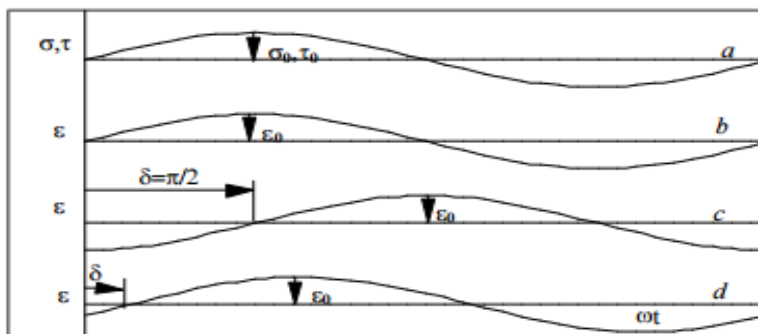
A feldolgozástechnika logikáján alapuló csoportosítás legjellemzőbb tulajdonság-függvényét a dinamikus mechanikai analízis (DMA) adja. A DMA görbékét azért tekinthetjük a legkorszerűbb mechanikai igénybevétel – válaszfüggvénynek, mert:

- a polimerek szokásos, kismértékű deformáció tartományában megjelenő válaszokat tükrözi,
- ismételt igénybevétellel kapcsolt, dinamikus terheléssel vizsgál,
- a hőmérséklet széles tartományában adott válaszokat jeleníti meg
- az igénybevétel sebességétől, frekvenciájától való függést is bemutatja.

A DMA függvény tehát a polimer anyagvizsgálat legkorszerűbb eszköze, mert bemutatja a polimerek kettős, viszkoelasztikus arculatának legfontosabb vonásait, és ezzel jellemezhetjük a legfontosabb funkcionális tulajdonságokat is, mint a rugalmassági moduluszt és a csillapítás képességéhez kapcsolódó veszteségi tényezőt. A berendezés lényege az érzékelő legszűkebb pontján csatlakoztatott húzó-, hajlító- vagy nyomó igénybevételt biztosító próbatest mérőfej, amely egy programozott hőmérséklet-emelkedést nyújtó termosztátba merül. A hőmérsékleti

program a szokásos esetben a cseppfolyós nitrogén ($-177\text{ }^{\circ}\text{C}$) hőmérsékletétől maximum $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjedhet [5, 6].

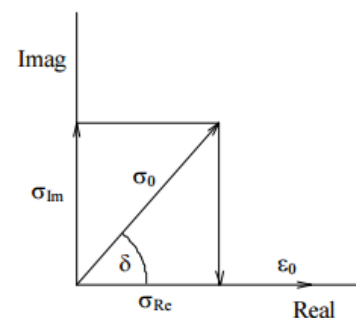
Ha a rugalmas anyag viselkedését a Hooke, a folyadékét pedig a Newton törvény írja le, lineáris viszkoelasztikus anyagról beszélünk. Ideálisan rugalmas testet deformálva a teljes befektetett munka potenciális energiává alakul, ami a terhelés megszüntetése után visszaalakul kinetikus energiává, és a test visszanyeri eredeti alakját és méretét. Ideális folyadékban a befektetett munka teljes egésze disszipálódik (hővé alakulva a folyadékot melegíti), ezért a folyadékok a terhelés megszűnése után nem nyerik vissza eredeti alakjukat és méretüket. Periodikus (szinuszos) terhelést adva egy ideálisan rugalmas testre (5. ábra *b* görbe), a deformáció lefutása (5. ábra *a* görbe) megegyezik a terhelésével.



5. ábra. Polimerek viselkedése periodikus terhelés esetén

- a.) ábra. Deformáció bekövetkezése esetén,
- b.) ábra. Ideálisan rugalmas anyag esetén,
- c.) ábra. Ideális folyadék esetén,
- d.) ábra. Polimer esetén.

Polimerek esetén, a polimer tulajdonságaitól és a terhelés körülményeitől függően a fáziskésés 0 és $\pi/2$ között változhat (5. ábra *d*). A fáziskésésnek a frekvencia és a hőmérséklet függvényében ábrázolva is maximuma(i) van(nak). Ennek az a magyarázata, hogy a makromolekula a hőmérséklettől és a terhelés frekvenciájától függően tudja - vagy nem tudja - követni az alkalmazott terhelést. Mivel, ahogyan az 5. ábrán is látható, periodikus igénybevételkor a polimerek feszültsége és deformációja nincsen fázisban egymással, ezért terheléssel szembeni viselkedésüket nem tudjuk kizárólag a rugalmassági moduluszal jellemezni, szükség van a fáziskésés (δ vagy $\tan \delta$) megadására is. Másik formalizmus szerint, az elektrotechnikában a váltakozó áramú körök leírására jól bevált komplex mennyiségekkel analóg módon, bevezetjük a komplex rugalmassági modulusz fogalmát (6. ábra).

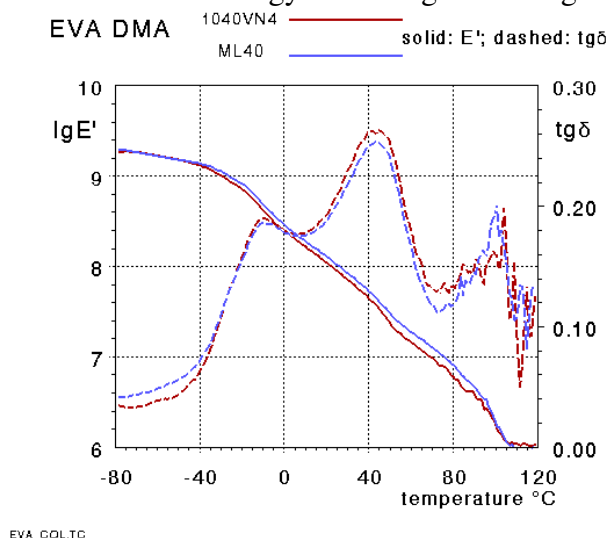


6. ábra. A feszültség vektorának felbontása valós és képzetes részre

3.2.1. A DMA vizsgálat eredményei

A DMA vizsgálat során kapott és logaritmizált eredményeinek a diagramjából (5. ábra) jól látható, hogy a $80\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti tartományban a mérési értékek nehezen értelmezhetők, az anyagok gyakorlatilag megfolytak. Alacsonyabb hőmérsékleten, a 0 és $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti

tartományban a DMA görbék le ill. felfutása nagyszerűen kirajzolódik, itt szeretném megemlíteni a görbék két jellegzetes csúcsát, ahol az 1. csúcs kb. -10°C -nál, illetve a 2. kicsit több, mint $+40^{\circ}\text{C}$ -nál található. Általánosan elmondható tehát, hogy a két EVA mintasorozat görbéi (kék és piros) és szerkezete között gyakorlatilag különbség nem észlelhető.



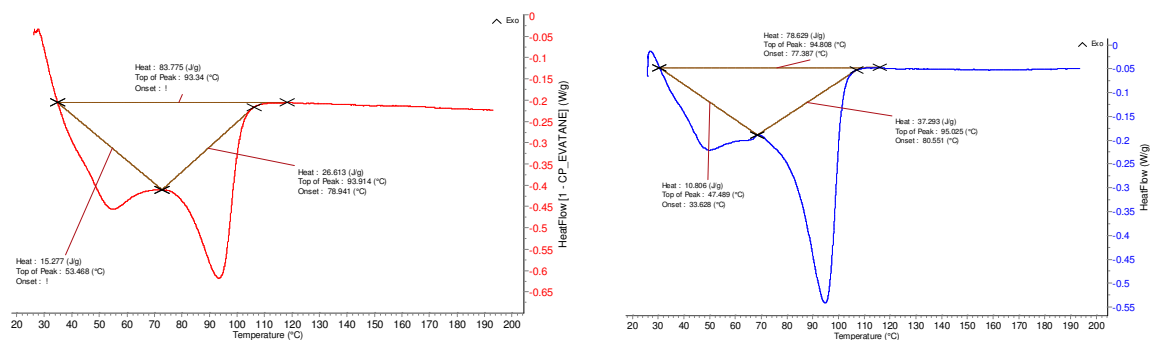
7. ábra. A DMA vizsgálati eredményeinek ábrázolása

3.3. A DSC vizsgálat

Amikor a polimer eléri az olvadáspontot, több energiára van szüksége, hogy a kristályos szerkezet is megolvadjon, ezért megjelenik egy endoterm csúcs. A csúcs alatti terület energia mértékegységben megegyezik az olvadáshővel. A csúcs hőmérsékletfüggése és az alakja információt ad a kristályossági fokról, a molekulatömeg-eloszlásról, az elágazás mértékéről, a kopolimer arányról, vagy a feldolgozási körülményekről. A minősítés során az olvadási profil összehasonlítható standard, jónak minősített anyagéval is. Amikor egy minta térhálósodik, általában nagyobb energiát bocsát ki és a változás exoterm. A térhálósodási csúcs alatti terület arányos a kialakuló keresztkötések számával, ez mutatja az ún. „térahálósodási fokot” [6]. Az ún. DSC görbéből leolvasható az olvadáspont (T_m), az olvadási csúcs hőmérséklete (T_p), és a görbe alatti terület alapján meghatározható az olvadáshő (ΔH_m). A polimerek olvadási görbéinek alapvető jellegzetessége, hogy széles hőmérséklet-tartományt fognak át és aszimmetrikusak. A DSC olvadási görbék felvételét ún. Setaram EVO 131 típusú készülékkel végezte. A berendezés és a vizsgálat további paraméterei pedig az alábbiak:

- felfűtés sebessége: $10^{\circ}\text{C}/\text{perc}$,
- fűtés kezdő hőmérséklete: 30°C , és ahol
- a fűtés véghőmérséklete: 250°C volt.

Új polimerek üvegesedési hőmérsékletének meghatározására talán a legjobb módszer, és széles körben használják heterogén polimerek jellemzésére, a polimer szerkezetulajdonság-összefüggéseinek megállapítására, illetve az anyagok közötti különbségek feltárására. A két EVA próbatest-sorozat közötti különbségeket a DSC analízis tárta fel leginkább, amelyek a következő ábrákon láthatók.



8.ábra. Az EVATANE és GreenFlex DSC görbéi

A két görbe összehasonlításánál látható, hogy a két görbe alatti terület eltérő nagyságú, a Greenflex-é valamivel nagyobb. A két görbének a csúcspontja sem ugyanott helyezkedik el, egymáshoz képest körülbelül 1 celsius fokos eltérést mutat. Ez megfelelő közelítést ad a két anyag helyettesítésére, de ugyanakkor egy továbblépést is jelenthet, ugyanis a két diagram jól elkülöníthető adatokkal rendelkezik.

KÖVETKEZTETÉS

A kapott mérési eredményeim alátámasztják, hogy az általam vizsgált két EVA típusú kopolimer minta (EVATANE® és Greenflex®) - a kezdeti feltételezésből kiindulva, miszerint azonos alapanyagból készültek - szerkezetük mégis különböző, hiszen az extrudálási paraméterek (*csiga fordulatszáma, hőmérséklet*) jelentősen megváltoztatták a minták szerkezetét, és azok termikus tulajdonságait. Míg az első két vizsgálat (FT-IR és DMA) során érdemi különbség nem volt regisztrálható, addig a DSC méréseknél az anyagok között igen jelentős eltérés volt tapasztalható, amelyet kiválóan prezentálnak a DSC mérésekből származtatott görbék, és a számított eredmények. Ennek oka feltételezhetően az eltérő molekulatömegek lehetnek, amelyek szintén befolyásolhatják az anyag szerkezeti és fizikai tulajdonságait a feldolgozás (extrúzió) során.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.muanyagipariszemle.hu/2008/02/muanyagok-az-egeszsegugy-szolgalataban-11.pdf> (2017. 05.29)
- [2] <http://www.muanyagipariszemle.hu/2008/06/2-resz-gyogyaszatban-alkalmazott-muanyagok-rendszerezese-18.pdf> (2017. 05.29)
- [3] http://quattroplast.hu/sites/default/files/attachments/orvostechikai_muanyagok_peek.pdf (2017.05.29)
- [4] **MÓCZÓ GY.**; Műanyagok, 33.o.
- [5] http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-0012_polimerek_merestechikaja/ch03s10.html (2017.05.29)
- [6] http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-0012_polimerek_merestechikaja/ch11s05.html (2017.05.29)
- [7] http://www.kerpely.uni-miskolc.hu/downloads/docs/cikkek/zsg_dissz.pdf 41.o

A MAGYAR HONVÉDSÉG VEZETŐ KIVÁLASZTÁSI ÉS FELKÉSZÍTÉSI RENDSZERÉNEK INNOVÁCIÓJA A TECHNIKAI FEJLŐDÉS TÜKRÉBEN

TIRCSI Hajnal

Honvéd Vezérkar, Kiképzési és Oktatási Csoportfőnökség, Oktatási Osztály,
vezető kiemelt főtiszt, hajnaltir@gmail.com
III. évfolyamos doktorandusz hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem,
Hadtudományi Doktori Iskola

Kivonat: A biztonság a XXI. századra átfogó és összetett tényezővé vált. Környezetünk és kultúránk (ismereteink) változásának hatására biztonságérzetünket meghatározó számos (pl.: társadalmi, politikai, gazdasági, környezeti, katonai, informatikai, pénzügyi, egészségügyi, belügyi, stb) összetevő ismert. Nap, mint nap szembesülünk különböző új technikai eszközökkel, amelyek alkalmazása hol többé, hol kevésbé befolyásolja az életünket, gondolkodásunkat és viselkedésiünket. A katonai vezetők kiválasztása során törekedni kell arra, hogy ez objektív teljesítményértékelésen alapuljon, kiképzésük pedig egységes és magas szintű legyen, a modern kor új kihívásainak megfelelően.

Kulcsszavak: technikai fejlődés, aszimmetrikus hadviselés, küldetésorientált vezetés, kompetencia, változás

Abstract: Security in the 21st Century became a complex and comprehensive factor. Due to the changes in our environment and culture (our knowledge), many of the determinants of our sense of security (eg. social, political, economic, environmental, military, IT, financial, health, home affairs etc.) are known.

Every day, we are faced with various new technical tools. The use of these is more or less affecting our lives, thoughts, and behaviors.

In the selection of military leaders, it is necessary to strive for objective benchmarking and to have a uniform and high level of training in line with the new challenges of the modern age.

Keywords: technical development, asymmetric warfare, mission-oriented leadership, competency, change

1. A MODERN TECHNOLÓGIÁK, A HUMÁN ERŐFORRÁS ÉS A BIZTONSÁGI KÖRNYEZET VÁLTOZÁSA.

A biztonság új értelmezésével nyilvánvalóvá vált a biztonsági kockázatok egyre szélesedő spektruma is. A biztonságpolitikai folyamatok befolyásolásában a hagyományos állami szereplők aktivitása mellett egyre nagyobb szerephez jutnak a nemzetközi szervezetek, multinacionális vállalatok, egyéb nem kormányzati szervezetek, valamint a nemzetközi bűnözői és terrorista csoportok. Az átrendeződő nemzetközi rendszer egyik sajátossága, hogy egyszerre vannak jelen a hagyományos biztonsági kockázatok és az új, gyakran globális megjelenésű és kiterjedésű fenyegetések. [1]

A katonai szervezetek számára felértékelődött a jól képzett humán erőforrás, mint az egyik alapvető és legnehezebben pótolható befektetés. A szervezet működésének szükséges, de nem elégséges feltétele a tehetséges, képzett és elkötelezett katonák megléte. A katonai kultúra fennmaradásának, a változó biztonsági környezethez való alkalmazkodásának érdekében szükség van a megszerzett tudás, tapasztalat gondozására, menedzselésére. [3][16]

Ha ismerjük és tudatosan alkalmazzuk a szervezet irányításához, működtetéséhez elengedhetetlen vezetői és egyéb ismereteket (tulajdonságokat, képességeket stb.), akkor ezek birtokában olyan vezető-kiválasztási rendszert, képzési, továbbképzési stratégiát alakíthatunk ki, amely biztosítja a szervezet működését, fejlődését. Fontos, hogy a kialakított (kompetencia alapú) rendszer „tudatos” legyen, így a megvalósításához szükséges stratégiák (folyamatosan monitorozott, pontosított) indokolt és bizonyított elvárásokon alapuljanak. Ezen értékek pontos felmérése, megismertetése a szervezet elemi érdeke és biztos alapot nyújthat az

eljövendő katonai vezetők kiválasztásához és képzéséhez, továbbképzéséhez szükséges kompetenciák meghatározásához. [2][3]

A társadalmi és gazdasági szervezetek egyik legfontosabb, legmeghatározóbb erőforrása a rendelkezésükre álló személyi állomány (vezetők és beosztottak egyaránt), amely összetételét, minőségét alapvetően befolyásolja a megfelelő kiválasztási rendszer. A hatékony, feladatokat vezetni és ellátni képes humán erőforrás akkor állhat költségkímélő módon rendelkezésre, ha a kiválasztási és felkészítési folyamat megfelelő módon történik. [1][2]

A haditechnikai fejlesztések egyik legfontosabb projektje a pilóta nélküli járművek kutatása. A technológia fejlődésével a drónok egyre inkább képesek (jelenleg korlátozásokkal) közvetlen emberi beavatkozás nélkül végrehajtani feladataikat.

A fejlesztések lehetővé teszik az egyre kisebb tömegű és méretű, de egyre nagyobb számítástechnikai kapacitásokkal rendelkező robotok tömeges elterjedését. A nagy sebességű adatátvitel, a precíziós navigációs képesség, a fedélzeten elhelyezett, miniaturizált szenzorok alkalmazása az automatizált eszközökben a 20. század végére jellemző volt.

A 21. század katonai műveletei kivitelezésében a robotok, robotrendszerek több változást okozhatnak. A technológia fejlődésével a drónok képesekké válnak olyan feladatok ellátására, amelyeket a katonák, illetve a közvetlen emberi erővel működtetett eszközök végeztek. A mesterséges intelligenciával rendelkező drónok létrehozására szükséges számítási kapacitás rendelkezésre áll, és a végbement technológiai fejlődés megteremtette az alapját, hogy a robotok hatékony fegyverrendszerekké váljanak. [19][20]

A dinamikus változó biztonsági környezetet jellemzi az újabb és újabb kihívások megjelenése. Az alkalmazkodás szerves részének kell lennie a vezetési szemléletünk megváltoztatásának, hiszen a jelenkori kihívások és fenyegetésekre adott katonai válasz csak így lehet sikeres.

2. A VEZETŐI KOMPETENCIÁK, A SZERVEZETI TUDÁS ÉS A DRÓNOK KAPCSOLATA.

A vezetéstudomány a vezetők tevékenységét segítő tudások rendszere. Az egyének és a szervezetek működését, működtetését segítő tudásanyagok azon rendszere, amely a gondolkodás filozófiai-rendszertani alapjaiból kiindulva, a szervezetet racionális módszerekkel, mint rendszert vizsgálva építi egybe a különböző szaktudományok felismeréseit úgy, hogy a szervezetért felelős vezető munkáját megkönnyítse. [9]

A vezetői érdekérvényesítő-képesség alapvetően három csoportba forrásból származik, úgy mint a személytől származtatható, a szervezet által biztosított és a szervezet külső függéséből következő forrás.

A vezetői tevékenységnek, mint minden más cselekvésnek vannak sajátosságai és jellemzően nem egyszerűen csak a hatalom gyakorlása. A vezetés lényege, hogy hogyan képes felismerni a vezető saját és beosztottai értékeit, motivációit. Hogyan tudja ezeket összegezni és ezen ismeretek figyelembevételével, segítségével cselekedni. [6][7][11]

„A katonai vezetés (military leadership) olyan egyedi vonásokkal bíró társadalmi tevékenység, amely során a katonai szervezet vezetője, a parancsnok alárendeltjeit befolyásolja az előjáró által meghatározott szervezeti feladatok végrehajtására, egy cél elérése érdekében.”¹. A parancsnok tehát egy olyan személy, aki különböző tevékenységeket hatékonyan és dinamikus módon végre hajtani a beosztottjaival, és a rendelkezésére álló eszközökkel (pl.: drónokkal). [1][4][5][18]

¹Csengery János: A légierő specifikus vezetői kompetenciái, kialakításuk lehetséges metodikái, fejlesztésének javasolt módszerei a vezetői képzésben In: A katonai vezetői-parancsnoki (harcászati vezetői) kompetenciák fejlesztésének lehetséges stratégiája egyetemi jegyzet Budapest NKE 2013. 84. oldal

A jövő háborúiban a műveleti sebesség nagysága megköveteli a gyors, pontos döntések meghozatalát és precíz, hatékony végrehajtását egy megfigyelt környezetben. A gépek olcsóbbak és könnyebben pótolható veszteséget jelentenek az embernél, az adatfeldolgozási képességük nagyobb, reakció idejük kisebb, valamint nem befolyásolja működésüket a fáradtság, és nem érznek félelmet; stb.

A dinamikusan változó biztonsági környezetben a katonai szervezet képességeivel kapcsolatban elmondható, hogy korlátozott múltbeli képességei által. A már meglévő eszközök alkalmazása és az új technológiák képességeinek megértése, kialakítása a parancsnokoknak, és a törvényhozóknak is új feladatot jelent. Meg kell érteniük az új technológiák működését és ismerniük kell alkalmazásuk korlátait. [21]

A katonatisztnek, mint a felelős vezetőnek, többek között saját személyiségének, készségeinek és tudásának, magatartásának és kapcsolatrendszerének erőforrásait felhasználva biztosítani a kell, hogy az organizációs folyamatok szervezése rendben menjen végbe és az alárendeltjei megismerhessék a szervezet jövőképét, amely alakításának ők is résztvevői, biztosítva, hogy a szervezet számára fontos célok eléréséhez vezető utat ismerjék. Így biztosítható a kellő számú és minőségű megfelelő szakértelemmel és tapasztalattal rendelkező beosztott álljon rendelkezésre, biztosítva a szervezeti feladatmegoldó-képesség és kreativitás alapját.

Dinamikusan változó világban élünk, minek következtében egy személy önállóan nem képes egy szervezetet hatékonyan irányítani. Nem áll rendelkezésre számára megfelelő mennyiségű idő, erő és tudás sem. Elkerülhetetlen a szakmai vezetés és vele a folyamatok szervezésének, a menedzsmentnek delegálása. A felső vezetés idejét és figyelmét már nem lehet megosztani az operatív és stratégiai folyamatok között. Az operatív és stratégiai vezetés szétválasztása és összekapcsolódása paradoxonjának kezelése egyre fontosabb követelmény.

A minőségelvű vezetés (TQM²) a kreativitás és innováció, — az amerikai vállalatvezetés kulcsszavai talán a hetvenes évek óta — a vezetői gondolkodás fontos fókuszpontja. A TQM elvek megismertetését és alkalmazását a vezető-kiválasztás és képzés, továbbképzés folyamán kell megkezdeni. Olyan vezetői kultúrát, olyan vezetői attitűdöt, mentalitást kell kialakítani, amely a vezetői önvizsgálatot és önképzést elfogadottá és természetessé teszi. Minél jobban ismeri és érti önmagát és az általa alkalmazott technikát (pl.: robotok) egy vezető, annál jobb döntéseket tud hozni és annál eredményesebb. Az ilyen felkészültséggel és tapasztalatokkal rendelkező parancsnok helyzetfüggően és tudatosan alkalmazza azokat az ismereteket, amelyeket a napi rutinban és a váratlan helyzetek megoldásakor egyaránt használnia kell. A vezető ismereteinek dinamikus egységben kell tükröznie a vezetett folyamatrendszerek, alkalmazott erőforrások működésének és sajátosságainak ismeretét és megértettségét, a kapcsolódó elmélet nyújtotta magyarázatokat és azok korlátait, valamint az emberi természetet. [9][15][20][22]

3. KOMPETENCIA-VIZSGÁLAT

A szervezetfejlesztés célja a szervezet; hatékonyság növelése. A hatékonysági kritériumokat alapvetően két csoportra oszthatjuk: az emberi tényezőkre, valamint tárgyi feltételekre. A vezetői eredményességet befolyásoló személyiségjellemzők, személyiségjegyek (kreativitás, elemzőképesség, kapcsolatépítő készségek, gyakorlatiasság, stb.) megléte, egymáshoz való viszonya természetesen segítik az egyént a mindennapi feladatellátáshoz szükséges tudás megszerzésében és alkalmazásában. [10][14]

A jövőben bizonyosra vehető a humán erőforrások jelentőségének növekedése. Változni fog a feladat végrehajtás, a munka jellege. Ez az elvárások pontos meghatározását és a

² Total Quality Management, teljes körű minőségirányítás

gyakorlati alkalmazhatóság és a képzés tartalmának, módszereinek szorosabb egymásra épülését igényli. A szervezet céljainak teljesítéséhez szükséges humánerőforrás kompetenciáihoz kapcsolódó szakmai, tárgyi ismeretek (explicit tudás) és a tapasztalatból szerzett intuíciók, érzések, tanult/szerzett problémamegoldó képességek, vagyis az implicit tudás megléte, annak fejlesztése egyaránt alapvető szervezeti érdek. Az organizációk nemzetközi környezetben való üzemeltetése megfelelően sokoldalúvá képzett, megoldáskereső beállítottsággal rendelkező, gyakorlott vezetők és szakemberek segítségével valósulhat meg. [12][17]

A kompetencia, mint fogalom tartalmazza, azt hogy az egyén milyen magatartással, személyiséggel, milyen képességekkel, motivációval, és milyen tudás birtokában valósítja meg, éri el céljait. A munka sikerességét garantáló viselkedés és tevékenység az esszencia, de tartalmazza az egyénre jellemző tulajdonságokat is. A vezetői tevékenység sikerességét azok a kompetenciák alapvetően befolyásolják, amelyek a feladat meghatározásához a végrehajtás irányításához szükségesek, így azokat a viselkedési elemeket kell meghatározni, amelyekből állnak, majd fejleszteni, illetve mérhetővé tenni és mérni azokat. [8]

A „megfelelő helyre a megfelelő embert” elvet csak akkor tudjuk sikeresen alkalmazni, ha pontosan meghatározzuk azokat a vezetői kompetenciákat, amelyek elengedhetetlenek egy vezetőnek. A vezető kompetenciái a feladatai ellátásához szükséges ismeretek birtoklását és alkalmazásképes tudását – azaz gyakorlatba ültetését és a parancsnok számára nélkülözhetetlen funkcionáló személyiségjegyeket, valamint a megfelelő attitűdöt jelenti. A modern HR elméletek alapján az alábbi vezetői kompetenciákat emelem ki:

- a vezetés képessége
- a tervezés és szervezés képessége
- a minőségre törekvés
- szóbeli és írásbeli kommunikáció
- a meggyőzés képessége
- beosztottak motiválása
- kreativitás és innovációra való törekvés
- rugalmasság.

A katonai kompetencia többek között olyan sajátos emberi magatartás, illetve viselkedésforma, amely a fegyverek használatának, az erőszak kezelésének szakismeretét, az arra kialakított készségeket tartalmazza, és azt, hogy ezt a tudást bármikor készen áll törvényesen alkalmazni.

A katonai képzések, kiképzések és felkészítések során arra kell helyezni a hangsúlyt, hogy a következő képességek és készségek birtokában legyen a katona:

- doktrinális és jogi
- hadászati, hadműveleti
- békeműveleti
- technikai, fegyveralkalmazási
- harcvezetői
- békevezetői
- kiképzői
- akadályleküzdési
- túlélési.

A katonai vezetői kompetencia olyan elemek integrálását jelenti, amely segítségével az adott szervezeti szintnek megfelelő parancsnok a rendelkezésére álló, illetve a szükséges erőforrásokat, a törvényes előírások lehetőségei szerint, úgy alkalmazza, hogy

elvárt mértékben és hatékonyan teljesítse az előjáró által meghatározott célokat. Ilyen néhány, általánosságban meghatározott katonai vezetői képesség, készség és kompetencia, például:

- Ismeretek és tudás: A katonai-szakmai, vezetői tudáson kívül, a tágabban vett műveletei környezet megismeréséhez és megértéséhez kapcsolódó társadalom- és bölcsészettudományokat is magában foglalja, mint például politológia, pszichológia és szociológia.
- Készségek és képességek: Tanulással vagy fejlesztéssel szerezhetők meg, elengedhetetlen elemei a sikernek. Az egyéni és kollektív szinten megszerzett és feldolgozott tapasztalatok is ezt az elemet erősítik.
- Személyes értékek és személyiségvonások: Az egyén, a parancsnok személyiségét meghatározó elemek. Fizikai tulajdonságai, lelkiereje és beállítottsága, motivációs-mozgósító képessége mind ezt az elemet határozzák meg.
- Attitűd: A katona, a vezető viselkedése főként a normáltól eltérő, akár extrém helyzetekben, mely nemcsak a feladat végrehajtását, hanem a környezete viselkedését is meghatározza, befolyásolja.
- Motiváció: Rendkívül széles kategória, melyben az erkölcsi-szellemi elemeken túl az anyagi motiváció is megjelenik. A feladatba, a társakba vetett hit, az elkötelezettség, az értékrend, a gondoskodás és támogatás mind az erkölcsi dimenziót erősíti, ami elengedhetetlen a sikerhez.
- Együttműködési képesség: A katonai kötelékek mérete, feladatainak bonyolultsága megköveteli, hogy ne csak a haderőn belüli és azon kívülálló szereplőkkel legyenek képesek az együttműködésre, hanem a biztonsági faktor más szereplőivel is.

Az amerikai hadsereg szárazföldi haderő doktrínája meghatározza a küldetésorientált parancsnok alapvető vezetői tulajdonságait:

- a karakter: Központi szerepet játszik a vezető alapvető identitásában. A katonai hivatásban a vezetői karakter határozza meg azt, hogy parancsnok bizonyos helyzetben hogyan vezesse a beosztottakat, illetve a karaktere teszi őt hatékony vezetővé.
- a jelenlét: A vezető jelenléte és a hitelessége az, ami alapján bizalmat sugároz és bizalmat épít. A jelenlét a tevékenységén, a megjelenésén, a viselkedésén, és a szavain keresztül valósul meg.
- az értelem: A parancsnoknak meg kell értenie a bonyolult helyzeteket, és meg kell tudnia határozni azt, hogy az adott helyzetben mit kell tenni, és azt hogyan kell végrehajtani a beosztottakkal. A vezetőnek tudnia kell érvelni, kritikusan kell gondolkodnia és kreatívnak kell lennie a problémák megoldása érdekében és a kulcskompetenciáit: a vezetésképességet, a fejlesztést, és a teljesítményt. [17] Az amerikai doktrína a vezetői kulcskompetenciák meghatározását a parancsnoknak az egységre gyakorolt hatásán keresztül fogalmazza meg.
- *Aki vezet*, annak van jövőképe, célja, motivációja, Képes kiterjeszteni a befolyását a parancsnoki láncon keresztül és képes szövetségeket elérni, ezáltal példát mutatni.
- *Aki fejlődik*, az szervezetek létrehozásával vezet és fenntartja a pozitív környezetet, és erőfeszítést tesz a bővítéséért vertikálisan és horizontálisan egyaránt. Él benne a fejlődés iránti igény.
- *Aki eléri célját*, az arra összpontosít, amire kell. Expedíciós (saját alegység, logisztika nincs jelen a műveleti területre érkezéskor) gondolkodásmódja van és képes alkalmazkodni a váratlan, változó, és bizonytalan helyzetekben. Rövidtávon éri el a célt, de képes ezt a hosszú távú célok érdekében is tenni. [1]

Az amerikai hadsereg vezetők fejlesztését meghatározó stratégiája (Leader Development Strategy for a 21st Century Army) [17] ahhoz, hogy az elvárt vezetői készségek és képességek kialakulhassanak és fejlődhessenek nyolc vezető fejlesztési irányvonalat és célt határoz meg.

A célok eléréséhez az út az élethosszig tartó tanuláson keresztül valósul meg, ahol a képzések, fejlesztő programok egymásra épülve, moduláris jelleggel folynak. Összefoglalva a nyolc irányvonal az alábbiakat tartalmazza:

- A stratégiai szintű vezetőknek és a szakmai felelős szervezeteknek ösztönözniük kell az alacsonyabb szintű parancsnokokat a tanulásra és a fejlődésre. Ehhez a tanulási folyamathoz a hadsereg, mint tanuló szervezet, meg kell, hogy teremtsen az erőforrásokat.
- Meg kell teremteni az egyensúlyt a képzés, az oktatás és a tapasztalat pillére között. Az oktatás és a képzés megteremtik a szükséges alapot ahhoz, hogy a megszerzett tapasztalatok együtt tudjanak komplex egészet alkotni.
- A parancsnokokat fel kell készíteni a hibrid fenyegetések és a teljes spektrumú műveletek tapasztalatait feldolgozva a modern, küldetésorientált vezetési szemléletre.
- A rövid idejű tanfolyamok és a műveleti tapasztalatok együtt járulnak hozzá a célok megvalósításához.
- Az egyéni jellemzők figyelembevételével, egyénre szabottan kell felkészíteni a parancsnokokat, mert a tudás, s készségek, s képességek és a tapasztalatok eltérően fejlődnek, alakulnak.
- A tantermi képzések során kell felkészíteni a parancsnokokat a műveleti környezet komplexitására.
- Olyan vezetőkre van szükség, akik elkötelezettek a beosztottak fejlődése iránt és mentorként támogatják a munkájukat. A senior vezetők erkölcsi és etikai felelőssége, hogy meg teremtsék a fejlődés lehetőségét és feltételeit.
- A hadseregnek olyan vezetőkre van szüksége, akik rendelkeznek háborús tapasztalatokkal és bírják az előjáróik és a beosztottaik bizalmát. [1]

4. KIVÁLASZTÁSI MÓDSZEREK

A szakmai tudás meghatározásának hatékony módszere a társadalomtudományi kutatások komplex alkalmazása, amelyek lehetővé teszik az explicit tudáselemek feltérképezése mellett az implicit tudás megismerését, akár olyan tudáselemek megszerzését, amelyek nem, vagy nehezen kvantifikálhatók. A kvalitatív információszerzés azonban sajátosságai miatt kiegészítésre szorul az eredmények megbízhatósága, és érvényessége tekintetében. A kvalitatív és kvantitatív módszerek integrált alkalmazása biztosíthatja a katonai vezetői kompetenciák elvárt pontossággal történő meghatározását. [3]

A kiválasztási rendszer kialakításakor találkozunk a kompetenciák mérésének kérdéskörével. A kompetenciavizsgálatot az emberi erőforrás gazdálkodásában a szükséges és megfelelő munkaerő kiválasztásának folyamatában, valamint a szervezet munkaerő fejlesztési szükségleteinek meghatározásánál alkalmazzák. Alapvetően két területen kerül alkalmazásra a kompetencia-vizsgálat: (1) a kiválasztási folyamatban, valamint, (2) a teljesítmény értékelésénél. A munkakör jellegétől és szintjétől függően a következő kompetenciavizsgálatok végezhetők, például:

- személyes interjú;
- az alkalmazás szempontjából releváns készségek, képességek, egyéb kompetenciák szintjét mérő munka-alkalmassági teszt;
- szituáció-, feladat-, feladvány-megoldások, amelyekkel mérik milyen mértékben és módon tudja képességeit, készségeit, kompetenciáit alkalmazni a jelölt;

A kiválasztási rendszer elemei között megtalálható az alkalmazás általános és különös feltételei, amelyek korlátozzák a munkakörbe kerülés lehetőségét. A különös alkalmazási feltételek magukban foglalják az adott munkakörhöz speciálisan meghatározott képzettség, szakmai gyakorlat, egyéb, speciális tudás, készség, stb. meglétét. A folyamata során a kiválasztás kritériumainak megfelelő jelöltek többlépcsős – képességeiket, tudásukat, műveltségüket széles körűen ellenőrző –, versengő, egy időben történő megmérettetésen mehetnek keresztül. Ez a fajta megmérettetés a jelöltek képességeinek sok szempontból történő összehasonlítását foglalja magában, amelynek során az elért eredmények függvényében és sorrendjében van lehetőség a jelentkezők számához képest kisebb számú beosztások megpályázására és a munkakör betöltésének elnyerésére.

A kiválasztási módszerek csoportosítása számos formában lehetséges. Ezek közül a leggyakrabban alkalmazott osztályozás szerint a kiválasztási módszerek lehetnek:

- kötöttek (formalizáltak, kötelezően alkalmazandók, illetve meghatározott rendben az iskolai végzettségek képzettségek, a letett vizsgák alapján folytatják le a kötelező pályázati eljárást);
- kötetlenek, (nem formalizáltak; tetszés szerint választhatóak az eljárások, módszerek). Amiben egységesek a kiválasztási módszerek, hogy a jelölteknek meg kell felelniük a kiírt feltételeknek, amelyek tartalmazzák az alkalmazás általános és különös feltételeit, az esetlegesen meghatározott plusz feltételeket, a munkakörelemzésben/munkakörtérképben meghatározott képzettségre, képességekre, készségekre - kompetenciákra is vonatkozó előírásokat. [2][13]

ÖSSZEGZÉS

Az eddig leírtak alapján kikövetkeztethető, hogy a jövő kihívásaira átfogó válaszokat csak komplex ismeretekkel és eszközökkel lehet adni. Ennek érdekében a katonai vezetők kiválasztása és felkészítése kiemelt feladat kell, hogy legyen, és ezt a magyar tisztképzés innovációjában szem előtt kell tartanunk. A vezető felkészítés fontos célja a megfelelő parancsnoki tudás, karakter attitűd kialakítása, ugyanis a parancsnokok nem csak vezetők, de egyben alárendeltek. Alárendeltként és vezetőként egyaránt szükséges rendszerszemléletet, kreativitást, kezdeményező készséget és önállóságot elvárunk és tolerálniuk is kell tudni.

Törekedni kell az állomány önbizalom és önbecsülés növekedésének alapjául szolgáló egységes és magas szintű kiképzésére, a személyes példával is támogatott megfelelő szellemiségű nevelésre, az objektív teljesítményértékelésen alapuló parancsnoki kiválasztásra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **JÜRGEN ALTMANN, MARK A. GUBRUD:** *Risks from military uses of nanotechnology - the need for technology assessment and preventive control*, (online), url: https://e3.physik.tu-dortmund.de/p&d/pubs/riskmilnt_lecce.pdf (2016.04.08)
- [2] **BALOGH LÁSZLÓ – BARTA TAMÁS – DOMINIK GYULA – KONCZ ISTVÁN:** *Vezetépszichológiai sarokpontok*, Budapest, 2000 ISBN 963 7163 50 6
- [3] **BARLAI RÓBERT – CSAPÓ EDIT:** *Szervezetfejlesztés és stratégiai vezetés. A módszer.* (online) url: <http://epa.oszk.hu/00100/00143/00022/barlai.html> (letöltve: 2013.03.10.)
- [4] **BEDZSULA BÁLINT – DR. TOPÁR JÓZSEF – DR. TÓTH ZSUZSANNA ESZTER:** *MINŐSÉGMENEDZSMENT, Oktatási segédanyag a Műszaki menedzser és a Vezetés és szervezés mesterszakos hallgatók számára*, Budapest, 2015
- [5] **BRIANTRACY – SZABÓ PÉTER:** *Hogyan vezetnek a legjobb vezetők?* Guruló Egyetem Kft. 2015 ISBN 978 615 5420 00 9

- [6] **CSENGERY JÁNOS:** *A légierő specifikus vezetői kompetenciái, kialakításuk lehetséges metodikái, fejlesztésének javasolt módszerei a vezetői képzésben* In: A katonai vezetői-parancsnoki (harcászati vezetői) kompetenciák fejlesztésének lehetséges stratégiája egyetemi jegyzet Budapest NKE 2013. 84. oldal, <http://m.ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10404/Teljes%20sz%C3%B6veg!?sequence=1&isAllowed=y> (letöltve: 2017.01.14)
- [7] **GAÁL ZOLTÁN:** *Általános menedzsment*, 2. átdolgozott, bővített kiadás, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2001.
- [8] **DANIEL GOLEMAN – RICHARD BOYATZIS – ANNIE MCKEE:** *A természetes vezető. Az érzelmi intelligencia hatalma*, Vince Kiadó 2003. ISBN 963 9323 70 5
- [9] **KORONVÁRY PÉTER:** *Az amerikai "military leadership" elmélet rendszertana*, ZMNE Hadtudományi Doktori Iskola, 2009.
- [10] **KORONVÁRY PÉTER:** *TQM a közsférában? veszélyek és lehetőségek*, Hadmérnök, IX. 3. 281-289 oldal, (online), url: http://hadmernok.hu/143_23_koronvary_1.pdf
- [11] **KORONVÁRY PÉTER:** *Gondolatok a vezetéstudomány 21. századi feladatairól*, Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények 9 (5) 2005, 109-124. oldal
- [12] **KORONVÁRY PÉTER – SZEGEDI PÉTER:** *Tudásalkalmazás és tudásgondozás*, Hadmérnök X. 4. 2015. 217-226 oldal, (online), url: http://www.hadmernok.hu/154_20_koronvaryp_szp.pdf
- [13] **KORONVÁRY PÉTER – SZEGEDI PÉTER – TÓTH JÓZSEF:** *Kutatás és képzés – módszertani feltevések az elvárások és a képzési portfólió összehangolására a repülő műszaki képzésben*, Hadmérnök, X. évfolyam 4. szám, 234-246, oldal
- [14] **KORONVÁRY PÉTER – SZEGEDI PÉTER:** *THOUGHTS on understanding our organizations*, HADMÉRNÖK X.:(4) pp. 227-236. (2015) (online), url: http://www.hadmernok.hu/154_21_koronvaryp_szp.pdf
- [15] **LINDER VIKTÓRIA:** *Új kiválasztási rendszer a magyar közigazgatásban – megint átestünk a ló túlsó oldalára?* (online), url: <http://www.mkksz.org.hu/html/main/alkossunk/vitainspirator/0419/linder2.pdf> (letöltve: 2017.01.14)
- [16] **WILL SOUTTER:** *Nanotechnology in the Military*, 2012 (online), url: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3028> (2016.04.08)
- [17] **SZEGEDI PÉTER – BÉKÉSI BERTOLD:** *A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2016. Miskolc, 2016. május 25. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottság, ISBN 978-963-7064-33-3 Debrecen 2016. pp.: 592-601
- [18] **SZEGEDI PÉTER:** *„Ötlet! ... Roham!” Egy „csináld és tanítsd” folyamat elindításához, a katonai felsővezető képzés lehetséges fejlesztési iránya* (online) url: http://hadmernok.hu/142_35_szegedip.pdf (letöltve: 2017.01.10.)
- [19] **PÉTER SZEGEDI:** *UAVs and the military leadership*, AFASES 2017 The 19th International conference „Scientific Research and Education in the Air Force” Brasov, Romania, 25.-27. 05. 2017. (presented paper)
- [20] **SZEGEDI PÉTER – TIRCSI HAJNAL:** *Nanotechnológia a katonai vezetés új kihívása?* Hadtudományi Szemle, 2017, X. évfolyam. 1. szám 491-505. oldal (online), url: http://uni-nke.hu/downloads/kutatas/folyoiratok/hadtudomanyi_szemle/szamok/2017/2017_1/17_1_vez_szegedi_tircsi.pdf
- [21] **TIRCSI HAJNAL:** *Küldetésorientált parancsnok – válasz a megváltozott műveleti környezetre*, Hadtudományi Szemle, 2015. VIII./2. (online), url: http://uni-nke.hu/downloads/kutatas/folyoiratok/hadtudomanyi_szemle/szamok/2015/2015_2/22_2_vez_tircsi_hajnal.pdf

- nke.hu/downloads/kutatas/folyoiratok/hadtudomanyi_szemle/szamok/2015/2015_2/15_2_tt_tircsi.pdf (letöltve: 2017.01.14)
- [22] **TURCSÁNYI KÁROLY – SZEGEDI PÉTER – TÓTH JÓZSEF:** *A katonai repülőműszaki tiszti kompetenciák felmérése integrált kutatási módszerrel* Repüléstudományi Közlemények, XXVIII. évf. 2. sz. 153.-164 oldal (online), url: http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html (letöltve: 2016.04.29)

AZ OPTIMÁLIS PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA A KEDVEZŐ KENÉS SZEMPONTJÁBÓL

SELECTION OF PROFILE SHIFT COEFFICIENTS FOR FAVOURABLE LUBRICATION

TOMORI Zoltán¹, SZENTE József², VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella³

¹PhD hallgató, okleveles gépészmérnök, nordker94@t-online.hu

¹Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Miskolci Egyetem

²ny. egyetemi docens, machszj@uni-miskolc.hu

Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolci Egyetem

³ egyetemi tanár, intézetigazgató, matvbg@uni-miskolc.hu

Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A fogaskerekek alkalmazása esetén előírt mozgásátvitelt kell megvalósítani úgy, hogy a szerkezeti elemek károsodás nélkül legyenek képesek a fellépő terhelések elviselésére. A mozgásátvitel törvényszerűségét, az áttételt, a fogaskerekek fogszámának célszerű megválasztásával, a kellő teherbírást a modul, a tengelytáv és a fogszélesség szilárdsági megfontolásokon alapuló meghatározásával érjük el. A cikkben egy új módszert mutatunk be a fajlagos profileltolás-tényezők megválasztására. Az új módszer a kenés szempontjából optimális geometriai viszonyokat biztosító profileltolás-tényezők meghatározását ismerteti.

Kulcsszavak: hengeres fogaskerék, profileltolás-tényezők, kedvező kenés.

Abstract: When gears are used, the prescribed movement of the gears must be carried out so that the structural elements can withstand the stresses being sustained without damage. The ratio of a gear pair can be determined by choosing the proper number of teeth, the appropriate load bearing capacity is achieved by determining the strength of the module, the center distance and tooth width based on strength considerations. In this paper we present a new method for selecting the profile shift coefficients. The new method describes the definition of profile shift coefficients that provide optimum geometrical conditions for lubrication.

Keywords: cylindrical gear, profile shift coefficients, favourable lubrication.

1. PROBLÉMAFELVETÉS

Egyenes fogú, evolvens fogprofilú hengeres fogaskerekeknél a fogszámok, a modul és a tengelytáv, továbbá az alapprofilszög ismerete meghatározza a kialakuló kapcsolószöget, amely általános esetben eltér az alapprofilszögtől. A hézagmentes kapcsolódás feltételi egyenletéből következik, hogy egy adott kapcsolószög eléréséhez a profileltolás-tényezők összegét kell előírni, miközben a fogaskerekek profileltolás-tényezői elvileg végtelenül sok, de a gyakorlatban legalábbis többféle módon megválaszthatók. Mindössze azt a feltételt kell biztosítani, hogy a két profileltolás-tényező összege elégítse ki a hézagmentes kapcsolódás feltételét.

Megvizsgáljuk, hogy a profileltolás-tényezők értékének megválasztása vagy meghatározása során valamilyen kötöttségek fellépnek-e?

A dolgozatban áttekintjük a profileltolás-tényezők meghatározására általánosan kialakult és alkalmazott eljárásokat, elemezzük azok jellemzőit, előnyeiket és hátrányaikat.

Bemutatunk egy új módszert a profileltolás-tényezők meghatározására, amely a kenés szempontjából, mint működési jellemző szempontjából, optimális eredmény elérését teszi lehetővé.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Napjaink fogaskerekkel foglalkozó szakirodalma nagyszámú különféle módszert ismer a profileltolás-tényezők meghatározására. Ezeket elsősorban egyetlen fogaskerékpár kapcsolódására dolgozták ki. Ezért először, a teljesség igénye nélkül csak a leglényegesebbeket kiemelve, tekintsük át az egy fogaskerékpár kapcsolódására vonatkozó profileltolás-tényezők meghatározására szolgáló eljárásokat.

DIKER J. I. [1], SZENICZEI L. [2] és BOLOTOVSZKIJ I. A. [3] kiegyenlített relatív csúszásra méreteznek úgy, hogy a főpont által elválasztott két kapcsolószakaszon a relatív csúszások legnagyobb értékei egyenlők legyenek egymással. Ez minden esetben a kapcsolódási határpontokban számított értékek kiegyenlítését jelenti, mivel a relatív csúszás a főpontban zérus értékű és onnan két folyamatos hiperbola mentén növekszik. A főpont által elválasztott két szakaszon tehát a két legnagyobb ordináta érték mindig a kapcsolódási határpontokban van, akár egyenlők azok egymással, akár nem. Értékük a kapcsolószög növelésével hatásosan csökkenthető. Ezen felül adott kapcsolószögű fogazaton a két legnagyobb csúszás kiegyenlíthető és így minimumra szorítható.

ABDERAZEK H., FERHAT D., ATANASOVSKA I., BOUALEM K. [4] olyan számítógépi programot dolgoztak ki, amely a relatív csúszások értékeinek kapcsolódási határpontbeli kiegyenlítésére alkalmas. Az általuk készített program minden fogszám esetén alkalmas a pontos profileltolás-tényezők meghatározására.

NIEMANN G. [5] vizsgálatai alapján megállapította, hogy a berágódási biztonsági tényező akkor optimális, ha a csúszási sebességek a kapcsolódási határpontokban egyenlők. Ez együtt jár azzal, hogy a fej kapcsolószámok is egyenlők (a kapcsolódási határpont főponttól mért távolságának és az alaposztásnak a hányadosa). Elég tehát kiegyenlíteni a fej kapcsolószámokat, ez biztosítja a csúszási sebességek egyenlőségét is.

BAGLIONI S., CIANETTI F., LANDI L. [6] a csúszási sebesség értékeinek meghatározásával dolgozott ki eljárást a fogazati kapcsolat hatásfokának javítására. Vizsgálataikban igazolják, hogy a csúszási sebesség csökkentésével a kopás, a zaj és a teljesítményvesztés is csökken. Vizsgálataik alapján ajánlásokat dolgoznak ki a fogaskerék-fogazat profileltolás-tényezőjének megválasztására, a lehetséges legjobb hatásfok elérése érdekében.

BLOK H. [7] a fogaskerek berágódását vizsgálta és úgy találta, hogy az nagy helyi hőmérséklet keletkezésekor jön létre. Ez a fogaskeréktest hőmérsékletéből és a fogkapcsolódás helyén létrejövő pillanatnyi hőmérséklet-emelkedésből, az úgynevezett hőfokvillámból adódik össze. A fogfelületek berágódása akkor következik be, ha a fogaskeréktest hőmérsékletének és a helyi pillanatnyi hőmérséklet-emelkedésnek az összege meghaladja a fogaskerek kenőanyagára jellemző úgynevezett berágódási hőmérsékletet. A berágódási hőmérséklet kísérleti úton határozható meg, míg a helyi hőmérséklet-emelkedésre a szerző a hővezetés differenciálegyenletéből kiindulva egy képletet határozott meg, mellyel az egyes kapcsolódási pontok kontakthőmérséklete meghatározható. Így kiszámíthatók az optimális berágódási biztonsághoz tartozó geometriai méretek a kenőanyag kritikus hőmérsékletének ismeretében.

WINTER H. [8], BLOK és NIEMANN nyomdokain haladva dolgozta ki a fogaskerek berágódási szilárdságának meghatározására általánosan alkalmazható, az úgynevezett integrálhőmérséklet-kritériumon alapuló számítási módszerét. Melynek alap gondolata, hogy a

fogfelület hőterhelését a keréktest hőmérsékletének és a hőfokvillámok átlagos hőmérsékletének összegével, az úgynevezett integrálhőmérséklettel jellemzi, amelyet a kapcsolódás szakaszában állandónak tekint. Nincs berágódási veszély, ha a kialakuló hőmérséklet alacsonyabb egy a kenőanyagtól, a fogaskerék anyagától, illetve a terhelési viszonyoktól függő, modellvizsgálattal, kísérleti úton megállapított hőmérséklet értéktől. Így ezzel az eljárással is meghatározhatók az optimális berágódási biztonságot eredményező geometriai méretek. Meg kell azonban jegyezni, hogy a számítás bonyolult volta miatt profileltolás-tényezők meghatározására alkalmazni igen nehézkes.

TERAUCHI Y. [9] és munkatársai zárt teljesítményfolyamú fogaskerék vizsgáló gépen végezték kísérleteiket. A fogazati kapcsolódásban létrehozták az EHD (elasztó-hidrodinamikusan) kenési állapotot, és azt vizsgálták, hogy kompenzált fogazat esetén a profileltolás-tényezők milyen értéke adja az optimális berágódási biztonságot. Megállapították, hogy a profileltolás-tényezők már viszonylag kis pozitív értéke is jelentős növekedést eredményez abban. A kapcsolódó fogaskerekek anyagától és a kenőanyagtól függően meghatároztak egy kritikus felületi hőmérsékletet, melynél a berágódási biztonság tényezője maximális. Kimutatták, hogy a kritikus felületi hőmérséklettel jól becsülhető a berágódási biztonság, így méretezésük során a kritikus felületi hőmérsékletet kialakító profileltolás-tényezőt határozták meg.

A kopás számítására a **PLEWE H. J. [10]** által kidolgozott módszer lényege, hogy egy kísérleti fogaskerékpárból nyert eredményeket felhasználva határozta meg az ún. lineáris kopást, a hasonló anyagpárosítású és hasonló kenési körülmények között üzemelő fogaskerekekre. A kopási élettartam meghatározásához a lineáris kopást egybevetjük a kopás megengedett értékével. A kísérleti adatok és a számítási eredmények összevetése alapján a kopás szempontjából optimális profileltolás-tényezők meghatározhatók.

3. A PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSÁNAK KÖTÖTTSÉGEI

A profileltolás-tényezők összegének ismeretében különféle elvek alkalmazásával szokás az egyes kerekek profileltolás-tényezőjét kiszámítani. Pl. a relatív csúszások értékeinek a kapcsolódás végpontjaiban történő kiegyenlítése alapján, vagy ugyanezen jellegzetes kapcsolódási pontokban a létrejövő hőfokemelkedések értékének kiegyenlítése alapján, stb.

A fogazat lefejtése során előfordulhat az az eset, hogy a fogazó szerszám fejele a gördülés során belemetsz a fogazat geometriailag helyes lábtölgörbéjébe úgy, hogy a bemetszés az evolvens profilba is beleér. Ekkor a fogazat lábrészén **alámetszés** alakul ki. Ez a jelenség határozza meg a fogazat minimális profileltolás-tényezőjének értékét.

A fogazó szerszám kihúzása során, azaz a fogazandó kerék középpontjától távolítva a fogazó szerszámot, kialakul az a határhelyzet, amikor a fogoldal két egymás felé hajló evolvens íve metszi egymást. Ilyenkor a szerszám kigördülése során, a forgácsoló élek a fogoldal metszéspontján áthaladó körívnél nagyobb átmérőn elkészített profilszakaszt eltávolítják. Ezt a jelenséget, amely egyfajta gyártási interferencia, **fogkihegyesedésnek** nevezzük. Ez a jelenség határozza meg a fogazat maximális fajlagos profileltolás-tényezőjének értékét.

Megjegyzendő továbbá az is, hogy az alámetszés és a fogkihegyesedés határértékei közötti tartományban is felléphetnek a zavartalan működést akadályozó interferencia jelenségek, illetve a kapcsolószám értéke sem csökkenhet egy előre meghatározott minimális érték alá. A káros jelenségek elkerülése érdekében előfordulhat, hogy a határok szűkítésére kényszerülünk.

4. ÚJ MÓDSZER A PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSÁRA

A 2. pontban leírtakat áttekintve megállapítható, hogy az irodalmi ajánlásokban szereplő kiegyenlítési elvekből nem igazolható a fogaskerék-hajtás működésére nézve kedvező hatás. Nem bizonyított, hogy ezek alkalmazásával valamelyik károsodási forma előfordulása kedvezően befolyásolható, vagy a működési viszonyok, pl. jobb hatásfok elérésével javíthatók.

A csak a mozgásviszonyokra kidolgozott módszereknek (csúszási sebesség kiegyenlítése, relatív csúszás kiegyenlítése), a terhelés hatásának figyelmen kívül hagyása miatt, önmagukban nincs a fogazatra értelmezhető fizikai tartalmuk.

Mindezek alapján célszerűnek tűnik a fajlagos profileltolás-tényezők megválasztására olyan új módszereket bevezetni, melyek alkalmazásával a kedvező következmények egyértelműen megállapíthatók. Az újonnan kifejlesztett módszer célja a profileltolás-tényezők megválasztásán keresztül a jellegzetes károsodások elkerülése, illetve kedvező hatásfok biztosítása.

Az új módszer keretében megválasztott profileltolás-tényezőket optimálisnak tekintjük, ha egy adott kritérium vonatkozásában a legkedvezőbb eredményt szolgáltatják. Ez utóbbi lehet az adott jellemző maximuma, vagy minimuma.

Az optimális fajlagos profileltolás-tényező alatt tehát azt, a használható tartományon belül lévő x_1 - x_2 értékpárt értjük, amely az egyes vizsgálati kritériumoktól függően lehet:

- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző maximumának minimuma (érintkezési-feszültség, hőfokvillám),
- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző minimumának maximuma (kenőfilm vastagság),
- az adott jellemző minimuma (súrlódási veszteség, lineáris kopás).

A leírtak bemutatására, a terjedelmi korlátok figyelembe vételével, vizsgáljuk meg a kenés szempontjából optimális viszonyokat biztosító profileltolás-tényezők megválasztásának módszerét.

A későbbi összehasonlítások elvégzését segítő, célszerű egy minta fogaskerékpár adatainak felvétele, amely segítségével meghatározhatóvá és összehasonlíthatóvá válnak a különféle kiegyenlítési módszerek által meghatározható, valamint az egyes működési jellemzők szempontjából kiszámított optimális profileltolás-tényező értékpárok.

Fogszámok: $z_1 = 19$, $z_2 = 37$, modul: $m = 3$ mm, tengelytávolság: $a_w = 86.4$ mm, alapprofil szög: $\alpha = 20^\circ$, fog szélesség: $b = 20$ mm, normál fogerő: $F_n = 1500$ N, a hajtókerék szögsebessége: $\omega_1 = 150$ /s, a fogaskerek anyagainak rugalmassági modulusai: $E_1 = E_2 = 206000$ N/mm², a fogaskerek anyagainak Poisson tényezői: $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$.

Az érintkező fogaskerék fogak között elhelyezkedő kenőanyag viselkedése az elasztó-hidrodinamikai kenésmélettel (EHD) írható le. A hengeres evolvens fogaskerek elméletileg vonal mentén érintkező felületekkel rendelkező gépelemek, amelyeknél a terhelés hatására a vonalérintkezésből téglalap alakú érintkezési felület jön létre.

Vizsgálatainkat a kapcsolóvonal teljes hosszára végezve, célszerű egy l lineáris paramétert bevezetni, amit úgy értelmezünk, hogy annak értéke a kapcsolódás A határpontjában $l = 0$, míg az E kapcsolódási határpontban $l = \rho_{1E} - \rho_{1A}$, ahol ρ_{1A} és ρ_{1E} a határpontokban a profilgörbületi sugarak.

A terhelés eloszlását, az irodalombeli ajánlásokkal egyezően tételezzük fel.

Ezek alapján a terhelés a két fogpár kapcsolódás szakaszán (A és B pontok között) a normál fogerő 1/3-áról a 2/3-ára növekszik. A B pontban ugrásszerűen a normál fogerővel lesz egyenlő, ami állandó marad az egy fogpár kapcsolódás szakaszán (B és D pontok között).

Majd a D pontban ugrásszerűen lecsökken a normál fogerő 2/3-ára és a két fogpár kapcsolódási szakaszokon (D és E pontok között) a normál fogerő 1/3-ára csökken.

Az elasztó-hidrodinamikai (EHD) [11] kenélmélet alapján a kialakuló kenőfilm vastagságot, az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

$$h(l) = H(l) \cdot \rho_r(l), \quad (1)$$

ahol:

$h(l)$ a kenőfilm vastagsága (mm),

$H(l)$ a mértékegység nélküli filmvastagság az l lineáris paraméter függvényében,

$\rho_r(l)$ a redukált görbületi sugár értéke a paraméter függvényében (mm).

A mértékegység nélküli filmvastagságot az alábbi egyenlet segítségével állíthatjuk elő:

$$H(l) = 2,65 \cdot \frac{G^{0,54} \cdot U(l)^{0,7}}{W(l)^{0,13}} \quad (2)$$

ahol:

G a mértékegység nélküli anyagjellemző,

$U(l)$ a mértékegység nélküli sebesség,

$W(l)$ a mértékegység nélküli terhelés.

A mértékegység nélküli anyagjellemző értéke:

$$G = \alpha_p \cdot E_r, \quad (3)$$

ahol:

α_p a viszkozitás nyomástényezője mm²/N-ban.

Az U mértékegység nélküli sebesség, az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$U(l) = \frac{v(l) \cdot \eta_M}{E_r \cdot \rho_r(l)}, \quad (4)$$

ahol:

$v(l)$ az érintkező fogprofil pontok közepes tangenciális sebessége, mm/s;

η_M a kenőolaj dinamikai viszkozitása a (7) összefüggésnél ismertetett módon, mPas;

E_r a kapcsolódó fogaskerek anyagainak redukált rugalmassági modulusa, MPa;

$\rho_r(l)$ a redukált görbületi sugár, mm.

A W mértékegység nélküli terhelés:

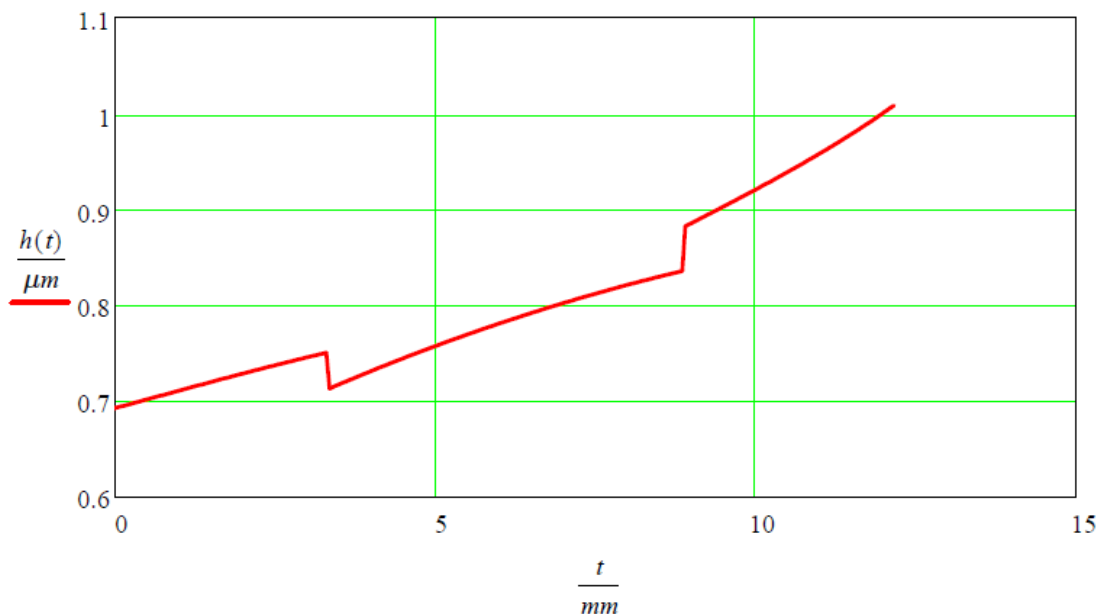
$$W(l) = \frac{Q(l)}{b \cdot E_r \cdot \rho_r(l)}, \quad (5)$$

ahol:

$Q(l)$ a terhelés eloszlása a korábban ismertetett modellnek megfelelően, N,

- b a fogszélesség, mm,
 E_r a fogaskerek anyagainak redukált rugalmassági modulusa, MPa,
 ρ_r a redukált görbületi sugár, mm.

Ezek alapján a kenőfilm vastagság változása a kapcsolóvonal mentén, a minta fogaskerékpár adatainak a felhasználásával, az 1. ábrán látható alakúra adódik.



1. ábra A kenőfilm vastagság változása a kapcsoló vonal mentén

5. AZ OPTIMÁLIS PROFIL-ELTOLÁS TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA A KEDVEZŐ KENÉS SZEMPONTJÁBÓL

A fogazati kapcsolódásban kialakuló kenőfilm vastagságot a profileltolás-tényezők az r_{a1} és r_{a2} fejkör sugarakon keresztül befolyásolják. Ennek megfelelően hatásuk az (1) összefüggésben szereplő mindkét mennyiségben érvényesül, mert a profileltolás-tényezők megváltozása az AE kapcsolódási szakasz eltolódását okozza a kapcsolóvonal mentén, amely hatással van mind a redukált görbületi sugárra, mind a mértékegység nélküli filmvastagságra. Ezek után megvizsgáljuk a kenőfilm vastagság változását a kapcsolóvonal mentén, különböző profileltolás-tényező értékeknél, és keressük azt az $x_1 - x_2$ értékpárt, amely a kapcsolódás során a legkedvezőbb, egyben a legnagyobb minimális kenőfilm vastagságot eredményezi. Ezt a vizsgálatot úgy végezzük el, hogy minden x_1 értékhez kiválasztjuk az ennél az értéknél kialakuló kenőfilm vastagság minimális értékét. Ezeket a minimum értékeket egy vektor elemeiként tároljuk. Az így kapott vektor elemei közül, amelyek a minimális kenőfilm vastagság értékeket mutatják, kiválasztjuk a legnagyobbat, amely egyben a vizsgált fogaskerékpár esetén az elérhető legnagyobb minimális kenőfilm vastagságot jelöli. A vektor elem indexe alapján pedig meg tudjuk határozni azt az x_1 értéket, amely esetén az optimum kialakult. Ez alapján az x_{1opt} értékből a hozzá tartozó x_{2opt} könnyedén számítható.

ÖSSZEGZÉS

A bemutatott új módszer mind az egyes károsodási formák, mind az optimális működési viszonyok esetén alkalmas az adott szempont szerint keresett legjobb megoldás meghatározására. Az optimális eredményt biztosító összetartozó profileltolás-tényező értékpárokat foglaltuk össze az 1. Táblázatban.

1. Táblázat Az optimális profil-eltolás tényezők értékei

Profileltolás-tényezők	Almen szorzat	Kenőfilm vastagság	Érintkezési feszültség	Súrlódási veszteség a fogakon	Villám hőmérséklet
x_{1opt}	0.45	0.879	0.879	0.36	0.45
x_{2opt}	0.429	0	0	0.519	0.429

A bemutatott táblázat tartalmazza a különféle károsodási formák és működési viszonyok szempontjából optimális összetartozó profileltolás-tényező értékpárokat.

KÖVETKEZTETÉSEK

1. Megállapítható, hogy a profileltolás-tényezőket csak olyan kritérium alapján célszerű megválasztani, amely valamelyik károsodási forma elkerülését, vagy a működési feltételek javítását szolgálja. Ennek megfelelően csak azok a kritériumok jöhetnek szóba, amelyek egyidejűleg tartalmazzák a terhelés és a mozgásvizonyok hatását. A csak a mozgásvizonyokra kidolgozott módszereknek (csúszási sebesség kiegyenlítése, relatív csúszás kiegyenlítése) önmagukban nincsen a fogazatra értelmezhető fizikai tartalmuk.

2. Megállapítható, hogy a profileltolás-tényezők megválasztására korábban ajánlott kiegyenlítési módszerek (csúszási sebesség, relatív csúszás), melyek az adott jellemzőt a kapcsolódás két végpontjában egyenlővé téve határozták meg a profileltolás-tényezőket, a vizsgált kritériumok egyike szerint sem adnak optimális megoldást.

3. Módszer került kidolgozásra a működési feltételek, valamint a jellegzetes károsodások elkerülése szempontjából legkedvezőbb (optimális) profileltolás-tényezők meghatározására. A módszer lényege, hogy az adott kritérium jellemző paraméterének változását vizsgáljuk a kapcsolódás folyamán. Az optimális profileltolás-tényezők alatt azt, a használható tartományon belül lévő x_1 - x_2 értékpárt értjük, mely az adott kritériumtól függően lehet:

- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző maximumainak a minimuma (érintkezési feszültség, villámhőmérséklet),
- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző minimumainak a maximuma (kenőfilm vastagság),
- illetve az adott jellemző minimuma (lineáris kopás, súrlódási veszteség).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló

intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DIKER, EVOLVENTNIJE ZACEPLENYIJE SZ UPRJAMIMI ZUBCAMI**, Organmetal, 1935.
- [2] **L. SZENICZEI**, *Az általános fogazás*, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, 1941, pp. 135-148.
- [3] **I. A. BOLOTOVSKY, T.P. BOLOTOVSKAYA, G.S. BOCHAROV, V.I. GURYEV, B.A. KURLOV, I.A. MERKURYEV, V.E. SMIRNOV**, *Spravochnik po geometricheskomu raschotu evolventnih zubchatih i chervyachnih peredach*, Mashinostroyenie, Moscow, (1963) 24-40.
- [4] **H. ABDERAZEK, D. FERHAT, I. ATAMASOVSKA, K. BOUALEM**, *A differential evolution algorithm for tooth profile optimization with respect to balancing specific sliding coefficients of involute cylindrical spur and helical gears*, Advanced Mechanical Engineering, 7 (2015) 1-11.
- [5] **G. NIEMANN, MASCHINENELEMENTE, BAND II**, SPRINGER VERLAG, Berlin/Göttingen /Heidelberg, 1965.
- [6] **S. BAGLIONI, F. CIANETTI, L. LANDI**, *Influence of the addendum modification on spur gear efficiency*, Mechanism and Machine Theory 49 (2012) 216-233.
- [7] **H. BLOK**, *Les temperatures des surface dans des conditions de graissages onspression extreme*, Second World Petroleum Congress, Paris, 1937.
- [8] **H. WINTER, M. RICHTER**, *Verzahnungswirkungsgrad und Fresstragfähigkeit von Hypoid und Schraubenradgetrieben*, Antriebstechnik, 15 (1976) 211-218. (in German)
- [9] **Y. TERAUCHI, H. NADANO**, *Effect of tooth profile modification on the scoring resistance of spur gear*, Wear, 80 (1982) 27-41.
- [10] **H. WINTER, H.J. PLEWE**, *Calculation of slow speed wear of lubricated gears*, Gear Technology, (1985) 8-18.
- [11] **A. CAMERON**, *The principles of lubrication*. Longsman, 1966.

A SÚRLÓDÁSI VESZTESÉG SZEMPONTJÁBÓL OPTIMÁLIS PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA

CHOOSING OPTIMAL PROFILE SHIFT COEFFICIENTS FOR PURPOSE OF MINIMAL FRICTION LOSS ON TOOTH

TOMORI Zoltán¹, SZENTE József², VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella³

¹PhD hallgató, okleveles gépészmérnök, nordker94@t-online.hu

¹Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Miskolci Egyetem

²ny. egyetemi docens, machszj@uni-miskolc.hu

Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolci Egyetem

³egyetemi tanár, intézetigazgató, matvbg@uni-miskolc.hu

Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A fogaskerek alkalmazása esetén előírt mozgásátvitelt kell megvalósítani úgy, hogy a szerkezeti elemek károsodás nélkül legyenek képesek a fellépő terhelések elviselésére. A mozgásátvitel törvényszerűségét, az áttételt, a fogaskerek fogszámának célszerű megválasztásával, a kellő teherbírást a modul, a tengelytáv és a fogszélesség szilárdsági megfontolásokon alapuló meghatározásával érjük el. A cikkben egy új módszert mutatunk be a fajlagos profileltolás-tényezők megválasztására. Az új módszer a fogazaton kialakuló súrlódási veszteség szempontjából optimális geometriai viszonyokat biztosító profileltolás-tényezők meghatározását ismerteti.

Kulcsszavak: hengeres fogaskerék, profileltolás-tényezők, súrlódási veszteség.

Abstract: When gears are used, the prescribed movement of the gears must be carried out so that the structural elements can withstand the stresses being sustained without damage. The ratio of a gear pair can be determined by choosing the proper number of teeth, the appropriate load bearing capacity is achieved by determining the strength of the module, the center distance and tooth width based on strength considerations. In this paper we present a new method for selecting the profile shift coefficients. The new method describes the definition of profile shift coefficients that provide minimal friction loss on tooth.

Keywords: cylindrical gear, profile shift coefficients, friction loss on tooth.

1. PROBLÉMAFELVETÉS

Egyenes fogú, evolvens fogprofilú hengeres fogaskerekeknél a fogszámok, a modul és a tengelytáv, továbbá az alapprofilszög ismerete meghatározza a kialakuló kapcsolószöget, amely általános esetben eltér az alapprofilszögtől. A hézagmentes kapcsolódás feltételi egyenletéből következik, hogy egy adott kapcsolószög eléréséhez a profileltolás-tényezők összegét kell előírni, miközben a fogaskerek profileltolás-tényezői elvileg végtelenül sok, de a gyakorlatban legalábbis többféle módon megválaszthatók. Mindössze azt a feltételt kell biztosítani, hogy a két profileltolás-tényező összege elégítse ki a hézagmentes kapcsolódás feltételét.

Megvizsgáljuk, hogy a profileltolás-tényezők értékének megválasztása vagy meghatározása során valamilyen kötöttségek fellépnek-e?

A dolgozatban áttekintjük a profileltolás-tényezők meghatározására általánosan kialakult és alkalmazott eljárásokat, elemezzük azok jellemzőit, előnyeiket és hátrányaikat.

Bemutatunk egy új módszert a profileltolás-tényezők meghatározására, amely a súrlódási veszteség szempontjából, mint működési jellemző szempontjából, optimális eredmény elérését teszi lehetővé.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Napjaink fogaskerekekkel foglalkozó szakirodalma nagyszámú különféle módszert ismer a profileltolás-tényezők meghatározására. Ezeket elsősorban egyetlen fogaskerékpár kapcsolódására dolgozták ki. Egy a teljességre nem törekvő, de az általánosan elterjedt módszereket számba vevő irodalmi áttekintést közöltünk „Az optimális profil-eltolás tényezők megválasztása a kedvező kenés szempontjából ” címmel megjelent cikkünkben. Ezért ezen dolgozatunkban már nem ismételjük ezt meg, hanem a terjedelmi korlátok szem előtt tartása mellett a súrlódási veszteség szempontjából optimális profil-eltolás tényezők meghatározására szolgáló módszer ismertetésére fordítunk nagyobb figyelmet. Az irodalmi hivatkozások jegyzékét azonban megtartjuk, hogy a téma iránt érdeklődők számára rendelkezésre álljon útmutatásként.

3. A PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSÁNAK KÖTÖTTSÉGEI

A profileltolás-tényezők összegének ismeretében különféle elvek alkalmazásával szokás az egyes kerek profileltolás-tényezőjét kiszámítani. Pl. a relatív csúszások értékeinek a kapcsolódás végpontjaiban történő kiegyenlítése alapján, vagy ugyanezen jellegzetes kapcsolódási pontokban a létrejövő hőfokemelkedések értékének kiegyenlítése alapján, stb.

A fogazat lefejtése során előfordulhat az az eset, hogy a fogazó szerszám fejele a gördülés során belemetsz a fogazat geometriailag helyes lábtölgörbéjébe úgy, hogy a bemetszés az evolvens profilba is beleér. Ekkor a fogazat lábrészén **alámetszés** alakul ki. Ez a jelenség határozza meg a fogazat minimális profileltolás-tényezőjének értékét.

A fogazó szerszám kihúzása során, azaz a fogazandó kerék középpontjától távolítva a fogazó szerszámot, kialakul az a határhelyzet, amikor a fogoldal két egymás felé hajló evolvens íve metszi egymást. Ilyenkor a szerszám kigördülése során, a forgácsoló élek a fogoldal metszéspontján áthaladó körívnél nagyobb átmérőn elkészített profilszakaszt eltávolítják. Ezt a jelenséget, amely egyfajta gyártási interferencia, **fogkihegyesedésnek** nevezzük. Ez a jelenség határozza meg a fogazat maximális fajlagos profileltolás-tényezőjének értékét.

Megjegyzendő továbbá az is, hogy az alámetszés és a fogkihegyesedés határértékei közötti tartományban is felléphetnek a zavartalan működést akadályozó interferencia jelenségek, illetve a kapcsolószám értéke sem csökkenhet egy előre meghatározott minimális érték alá. A káros jelenségek elkerülése érdekében előfordulhat, hogy a határok szűkítésére kényszerülünk.

4. ÚJ MÓDSZER A PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSÁRA

A profil-eltolás tényezők meghatározására szolgáló kiegyenlítési elveket áttekintve megállapítható, hogy az irodalmi ajánlásokban szereplő kiegyenlítési elvekből nem igazolható a fogaskerékajtás működésére nézve kedvező hatás. Nem bizonyított, hogy ezek alkalmazásával valamelyik károsodási forma előfordulása kedvezően befolyásolható, vagy a működési viszonyok, pl. jobb hatásfok elérésével javíthatók.

A csak a mozgásviszonyokra kidolgozott módszereknek (csúszási sebesség kiegyenlítése, relatív csúszás kiegyenlítése), a terhelés hatásának figyelmen kívül hagyása miatt, önmagukban nincs a fogazatra értelmezhető fizikai tartalmuk.

Mindezek alapján célszerűnek tűnik a fajlagos profileltolás-tényezők megválasztására olyan új módszereket bevezetni, melyek alkalmazásával a kedvező következmények egyértelműen megállapíthatók. Az újonnan kifejlesztett módszer célja a profileltolás-tényezők megválasztásán keresztül a jellegzetes károsodások elkerülése, illetve kedvező hatásfok biztosítása.

Az új módszer keretében megválasztott profileltolás-tényezőket optimálisnak tekintjük, ha egy adott kritérium vonatkozásában a legkedvezőbb eredményt szolgáltatják. Ez utóbbi lehet az adott jellemző maximuma, vagy minimuma.

Az optimális fajlagos profileltolás-tényező alatt tehát azt, a használható tartományon belül lévő x_1 - x_2 értékpárt értjük, amely az egyes vizsgálati kritériumoktól függően lehet:

- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző maximumának minimuma (érintkezési-feszültség, hőfokvillám),
- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző minimumának maximuma (kenőfilm vastagság),
- az adott jellemző minimuma (súrlódási veszteség, lineáris kopás).

A leírtak bemutatására, a terjedelmi korlátok figyelembe vételével, vizsgáljuk meg a súrlódási veszteség szempontjából optimális viszonyokat biztosító profileltolás-tényezők megválasztásának módszerét.

A későbbi összehasonlítások elvégzését segítő, célszerű egy minta fogaskerékpár adatainak felvétele, amely segítségével meghatározhatóvá és összehasonlíthatóvá válnak a különféle kiegyenlítési módszerek által meghatározható, valamint az egyes működési jellemzők szempontjából kiszámított optimális profileltolás-tényező értékpárok.

Fogszámok: $z_1 = 19$, $z_2 = 37$, modul: $m = 3$ mm, tengelytávolság: $a_w = 86.4$ mm, alapprofilszög: $\alpha = 20^\circ$, fogszélesség: $b = 20$ mm, normál fogerő: $F_n = 1500$ N, a hajtókerék szögsebessége: $\omega_1 = 150$ /s, a fogaskerek anyagainak rugalmassági modulusai: $E_1 = E_2 = 206000$ N/mm², a fogaskerek anyagainak Poisson tényezői: $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$.

A súrlódási veszteség vizsgálata, illetve meghatározása során a kapcsolóvonal mentén a súrlódó erő által okozott súrlódási veszteséget szeretnénk kiszámítani. Ezt a súrlódási veszteség teljesítmény idő szerinti határozott integráljával határozhatjuk meg:

$$W_s = \int_0^{t_c} P_s(t) dt, \quad (1)$$

ahol:

$P_s(t)$ a súrlódási veszteség teljesítmény (W),

t_c egy kiválasztott fog kapcsolódásban töltött ideje (s).

A súrlódási veszteségteljesítményt az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

$$P_s(t) = F_s(t) \cdot |v_s(t)| \quad (2)$$

ahol:

$F_s(t)$ a súrlódó erő, (N),

$v_s(t)$ a csúszási sebesség a kapcsolóvonal mentén, (m/s).

Mindkét változót a fogazati kapcsolatban töltött idő függvényében vizsgáljuk.

A **súrlódó erő** a kapcsolóvonal mentén, az idő függvényében:

$$F_s(t) = \mu \cdot Q(t), \quad (3)$$

ahol:

$F_s(t)$ a súrlódó erő, (N),

μ az átlagos súrlódási tényező,

$Q(t)$ a normál fogerőből származó terhelés, (N).

A terhelés eloszlását, az irodalombeli ajánlásokkal egyezően tételezzük fel. Ezek alapján a terhelés a két fogpár kapcsolódás szakaszán (A és B pontok között) a normál fogerő 1/3-áról a 2/3-ára növekszik. A B pontban ugrásszerűen a normál fogerővel lesz egyenlő, ami állandó marad az egy fogpár kapcsolódás szakaszán (B és D pontok között). Majd a D pontban ugrásszerűen lecsökken a normál fogerő 2/3-ára és a két fogpár kapcsolódási szakaszokon (D és E pontok között) a normál fogerő 1/3-ára csökken.

A kapcsolódási pont kapcsolóvonal menti sebességének nagyságát az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

$$v_n = r_{b1} \cdot \omega_1, \quad (4)$$

ahol:

r_{b1} a kiskerék alapkör sugara, (mm),

ω_1 a kiskerék szögsebessége, (1/s).

A **csúszási sebesség**, az idő függvényében a kapcsolóvonal mentén:

$$v_s(u) = \rho_1(t) \cdot \omega_1 - \rho_2(t) \cdot \omega_2, \quad (5)$$

ahol:

$\rho_1(t)$ és $\rho_2(t)$ a pillanatnyi görbületi sugarak értéke, (mm),

ω_2 a nagykerék szögsebessége, (1/s).

A kapcsolódás időtartama:

$$t_c = \frac{g_\alpha}{v_n} \quad (6)$$

ahol:

g_α a kapcsolóhossz, (mm),

v_n a kapcsolódási pont sebessége a kapcsoló vonalon, (mm/s).

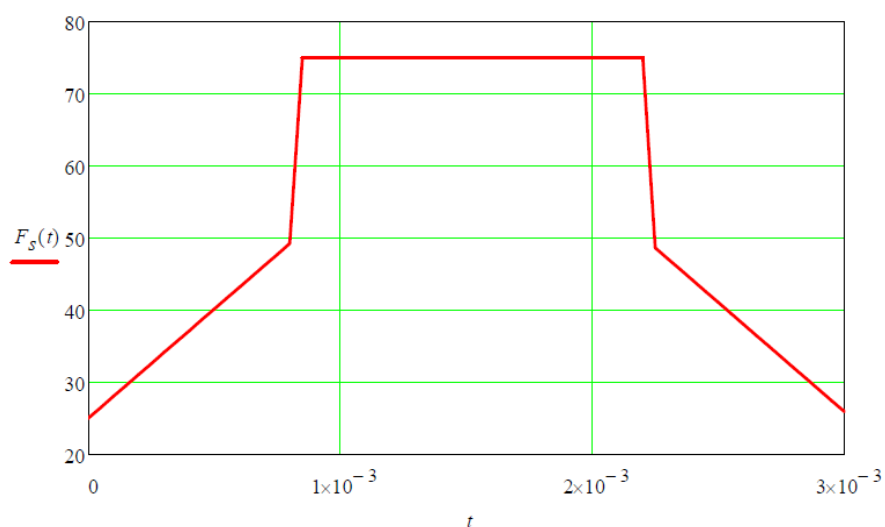
A kapcsolóhossz:

$$g_{\alpha} = \rho_{1E} - \rho_{1A}, \quad (7)$$

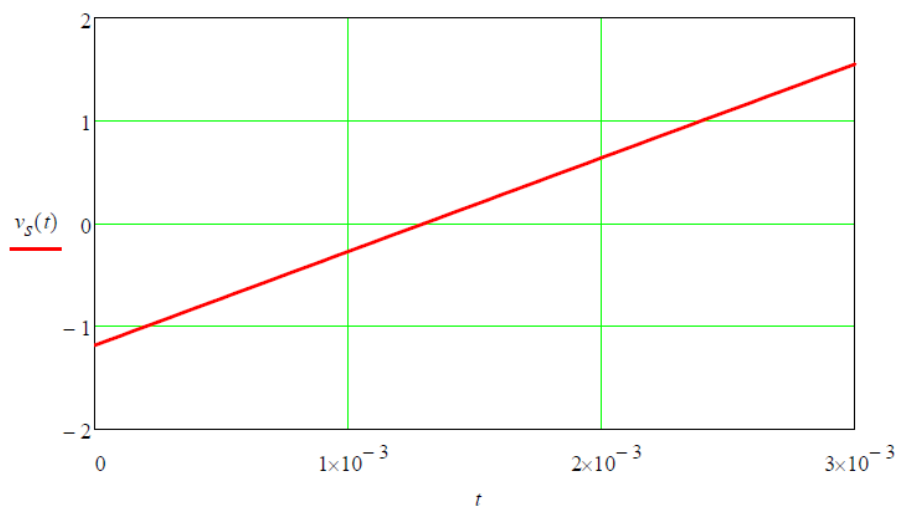
ahol:

ρ_{1E} és ρ_{1A} a görbületi sugarak értéke a kapcsolódás határpontjaiban, (mm).

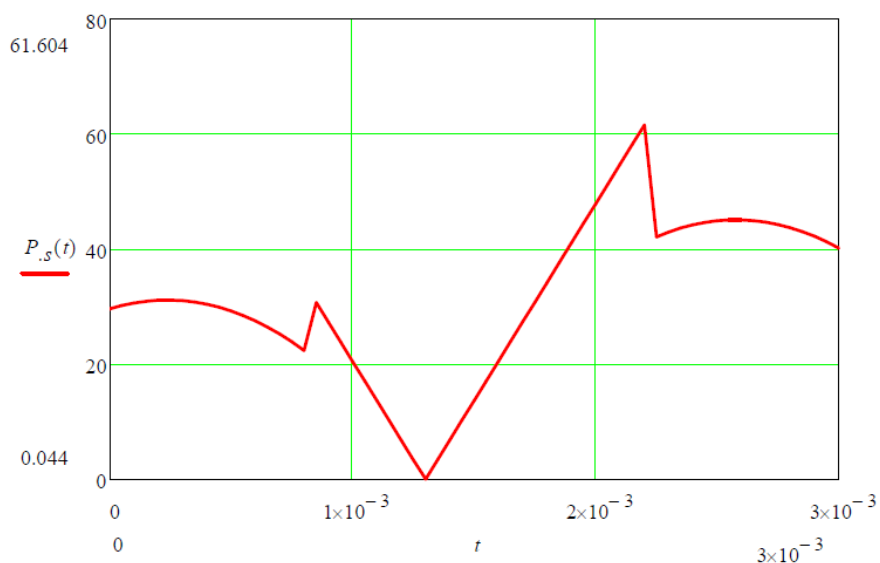
Ezek alapján a súrlódó erő, a csúszási sebesség és a súrlódási veszteség teljesítmény változása a kapcsoló vonal mentén az alábbi alakúra adódik a minta fogaskerékpár adataival.



1.ábra A súrlódó erő változása a kapcsoló vonal mentén.



2.ábra A csúszási sebesség változása a kapcsoló vonal mentén.



3.ábra A súrlódási veszteség teljesítmény változása a kapcsoló vonal mentén.

5. AZ OPTIMÁLIS PROFIL-ELTOLÁS TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA A MINIMÁLIS SÚRLÓDÁSI VESZTESÉG SZEMPONTJÁBÓL

A fogazati kapcsolódásban kialakuló súrlódási veszteséget a profileltolás-tényezők az r_{a1} és r_{a2} fejkör sugarakon keresztül befolyásolják. Ennek megfelelően hatásuk az (1) összefüggésben szereplő mennyiségben érvényesül, mert a profileltolás-tényezők megváltozása az AE kapcsolódási szakasz eltolódását okozza a kapcsolóvonal mentén, amely hatással van a súrlódási veszteség teljesítmény függvényének alakjára, így azon keresztül a függvény alatti terület nagyságára..

Ezek után megvizsgáljuk a súrlódási veszteség nagyságának változását, különböző profileltolás-tényező értékeknél, és keressük azt az $x_1 - x_2$ értékpárt, amely a kapcsolódás során a legkedvezőbb, egyben a legkisebb súrlódási veszteséget eredményezi. Ezt a vizsgálatot úgy végezzük el, hogy minden x_1 értékhez meghatározzuk az ehhez az értékhez tartozó súrlódási veszteség nagyságát. Ezeket az értékeket egy vektor elemeiként tároljuk. Az így kapott vektor elemei közül, amelyek a súrlódási veszteség nagyságát mutatják, kiválasztjuk a legkisebbet, amely egyben a vizsgált fogaskerékpár esetén az elérhető legkisebb súrlódási veszteséget jelöli. A vektor elem indexe alapján pedig meg tudjuk határozni azt az x_1 értéket, amely esetén az optimum kialakult. Ez alapján az x_{1opt} értékből a hozzátartozó x_{2opt} könnyedén számítható.

ÖSSZEGZÉS

A bemutatott új módszer mind az egyes károsodási formák, mind az optimális működési viszonyok esetén alkalmas az adott szempont szerint keresett legjobb megoldás meghatározására. Az optimális eredményt biztosító összetartozó profileltolás-tényező értékpárokat foglaltuk össze az 1. Táblázatban.

1. Táblázat Az optimális profil-eltolás tényezők értékei

Profileltolás-tényezők	Almen szorzat	Kenőfilm vastagság	Érintkezési feszültség	Súrlódási veszteség a fogakon	Villám hőmérséklet
x_{1opt}	0.45	0.879	0.879	0.36	0.45
x_{2opt}	0.429	0	0	0.519	0.429

A bemutatott táblázat tartalmazza a különféle károsodási formák és működési viszonyok szempontjából optimális összetartozó profileltolás-tényező értékpárokat.

KÖVETKEZTETÉSEK

1. Megállapítható, hogy a profileltolás-tényezők megválasztására korábban ajánlott kiegyenlítési módszerek (csúszási sebesség, relatív csúszás), melyek az adott jellemzőt a kapcsolódás két végpontjában egyenlővé téve határozták meg a profileltolás-tényezőket, a vizsgált kritériumok egyike szerint sem adnak optimális megoldást.

2. Módszer került kidolgozásra a működési feltételek, valamint a jellegzetes károsodások elkerülése szempontjából legkedvezőbb (optimális) profileltolás-tényezők meghatározására. A módszer lényege, hogy az adott kritérium jellemző paraméterének változását vizsgáljuk a kapcsolódás folyamán. Az optimális profileltolás-tényezők alatt azt, a használható tartományon belül lévő x_1 - x_2 értékpárt értjük, mely az adott kritériumtól függően lehet:

- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző maximumainak a minimuma (érintkezési feszültség, villámhőmérséklet),
- a kapcsolóvonal mentén változó jellemző minimumainak a maximuma (kenőfilm vastagság),
- illetve az adott jellemző minimuma (lineáris kopás, súrlódási veszteség).

3. Megállapítható, hogy általános érvényű, valamennyi kritérium szerint optimális profil-eltolás tényezők nincsenek. Megválasztásukat mindig a működési feltételek, valamint várhatóan kritikus károsodási forma elkerülésének célja határozza meg. Ugyanakkor egyidejűleg több kritériumot is kielégítő választás lehetséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DIKER**, *Evolventnije zaceplenyije sz uprjamimi zubcami*, Organmetal, 1935.
- [2] **L. SZENICZEI**, *Az általános fogazás*, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, 1941, pp. 135-148.
- [3] **I. A. BOLOTOVSKY, T.P. BOLOTOVSKAYA, G.S. BOCHAROV, V.I. GURYEV, B.A. KURLOV, I.A. MERKURYEV, V.E. SMIRNOV**, *Spravochnik po geometricheskomu raschotu evolventnih zubchatih i chervyachnih peredach*, Mashinostroyenie, Moscow, (1963) 24-40.
- [4] **H. ABDERAZEK, D. FERHAT, I. ATAMASOVSKA, K. BOUALEM**, *A differential evolution algorithm for tooth profile optimization with respect to balancing specific sliding coefficients of involute cylindrical spur and helical gears*, Advanced Mechanical Engineering, 7 (2015) 1-11.
- [5] **G. NIEMANN**, *Maschinenelemente*, Band II, Springer Verlag, Berlin/Göttingen /Heidelberg, 1965.
- [6] **S. BAGLIONI, F. CIANETTI, L. LANDI**, *Influence of the addendum modification on spur gear efficiency*, Mechanism and Machine Theory 49 (2012) 216-233.
- [7] **H. BLOK**, *Les temperatures des surface dans des conditions de graissagesonspression extreme*, Second World Petroleum Congress, Paris, 1937.
- [8] **H. WINTER, M. RICHTER**, *Verzahnungswirkungsgrad und Fresstragfähigkeit von Hypoid und Schraubenradgetrieben*, Antriebstechnik, 15 (1976) 211-218. (in German)
- [9] **Y. TERAUCHI, H. NADANO**, *Effect of tooth profile modification on the scoring resistance of spur gear*, Wear, 80 (1982) 27-41.
- [10] **H. WINTER, H.J. PLEWE**, *Calculation of slow speed wear of lubricated gears*, Gear Technology, (1985) 8-18.

CSAPÁGYVIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÁTTEKINTÉSE

OVERVIEW OF BEARING TEST METHODS

TÓTH Dániel¹, TÓTH Sándor Gergő², SZILÁGYI Attila³, TAKÁCS György⁴

¹egyetemi tanársegéd, toth.daniel@uni-miskolc.hu
¹Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Miskolci Egyetem

²PhD hallgató, toth.sandorgergo@uni-miskolc.hu
²Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Miskolci Egyetem

³egyetemi docens, szilagyi.attila@uni-miskolc.hu
³Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Miskolci Egyetem

⁴egyetemi docens, takacs.gyorgy@uni-miskolc.hu
⁴Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Miskolci Egyetem

Kivonat: A csapágyak rendkívül széles körben alkalmazott gépelemek, melyek meghibásodása komoly következményekkel járhat. Meghibásodásuk nemcsak üzemzavarokhoz, gépleállásokhoz, termelés kiesésekhez, de akár katasztrofális balesetekhez is vezethet. Annak érdekében, hogy ezeket a károkat megelőzzük, folyamatos állapotfelügyelet szükséges. Jelen cikk csapágykárosodásokkal, valamint csapágy diagnosztikai módszerekkel foglalkozik.

Kulcsszavak: hőmérsékletelemzés, zajdiagnosztika, akusztikus emisszió.

Abstract: Bearings are one the most widely used machine parts so their failure results serious consequences. Failures of these machine elements can cause various outages, production losses, unexpected malfunctions or even lead to catastrophic accidents. In order to hinder these damages, defects should be detected as early as possible. The following paper focuses on substantial analysis techniques of bearings and presents bearing failures.

Keywords: temperature analysis, noise diagnostics, acoustic emission.

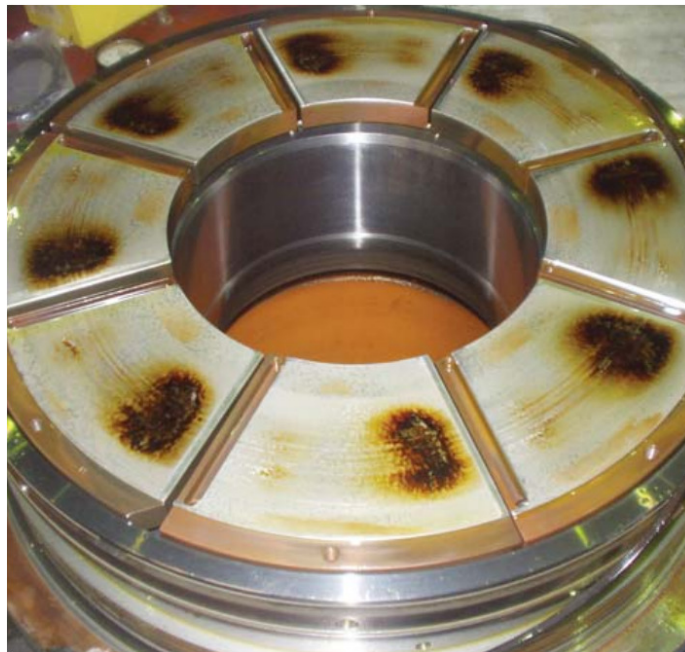
1. BEVEZETÉS

Napjainkban a gépek állapotának üzem közbeni vizsgálata és a nagyjavítások tervezése egyre nagyobb jelentőségűvé válik. A csapágyak kimagasló szerepet játszanak minden forgó alkatrészt tartalmazó eszközben, így azok felügyelete kiemelt feladat. A csapágyhibák korai észlelése lehetővé teszi, hogy kicseréljük a csapágyat a tervezett karbantartás során, így elkerülhetők a váratlan leállások a csapágy meghibásodása miatt. Különböző technikák léteznek a csapágyak működési viszonyainak felügyeletéhez, melyek segítenek meghatározni a csapágyhiba megjelenését.

2. CSAPÁGYKÁROSODÁSOK

A csapágyak idő előtti tönkremenetelének oka lehet például a gondatlan kezelés, a számítottnál nagyobb terhelés, a nem elegendő vagy nem megfelelő kenés, a rossz hatásfokú tömítés vagy a túl szoros illesztések, melyek elégtelen belső csapágyhézagot eredményeznek. Ezen tényezők mindegyike különleges csapágykárosodást okoz és a csapágyon rajta hagyja a maga speciális jelét. Egy károsult csapágyat megvizsgálva a legtöbbször véleményt lehet formálni a hiba okáról és ezt követően a szükséges intézkedéseket meg lehet tenni. A csapágykárosodások mindegyike jellegzetes hibákat okoz, melyeket elsődleges és másodlagos

meghibásodásokra szokás osztani. Az elsődleges hibák közé sorolhatóak a kopás, elkenődés, felületi károsodás, benyomódás, korrózió és a villamos áram okozta károsodás. A primer károsodás továbbterjedéseként jelentkezhetnek a szekunder károsodások, mint például a lepattogzás, rétegleválás és a repedés [1].



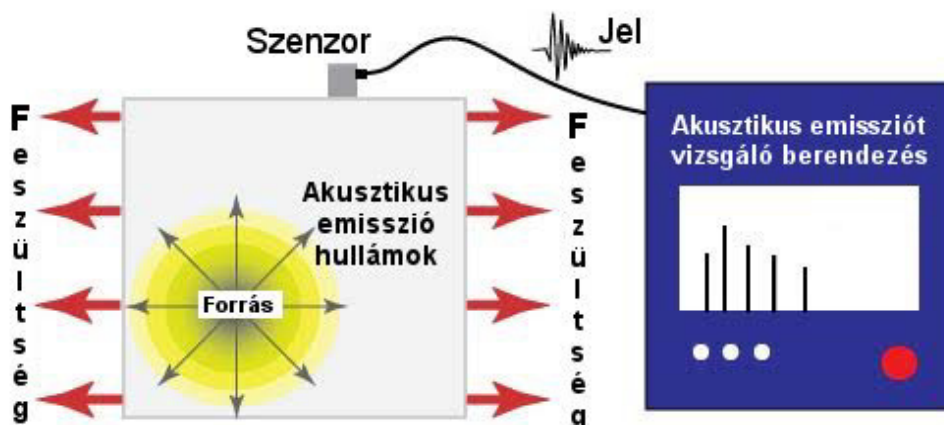
1. ábra. Siklócsapágó károsodás (kenőanyag túlhevülés) [2]

3. ZAJDIAGNOSZTIKA

A csapágó belsejében forgó görgők, illetve golyók által szélessávú zaj és rezgés keletkezik, amely fokozódik a csapágó helytelen kenése, túlterheltsége (pl. egytengelyűség-beállítási hiányosságok) következtében, vagy a futófelületek, illetve a gördülőelemek felületeinek meghibásodása esetén. A zajvizsgálat során a hangtér két jellemzőjét szokták detektálni: a hangnyomást és a hangintenzitást. A módszer alkalmazása során a zajkeltő objektummal nem kell közvetlen kapcsolatot teremteni, a zajmérés bizonyos távolságból is elvégezhető. A zajmérésnél nehezebb szétválasztani a diagnosztikai információt hordozó összetevőket az érdektelen részekről vagy esetleg a külső zavaró körülményektől. Bár a csapágó zajdiagramjának felvétele nem ad lehetőséget egyértelmű gyártási, illetve technológiai hiba kiszűrésére, a zajmérés és ezen belül is az úgynevezett effektív zajérték kiválóan alkalmas a csapágó minősítésére, hiszen a csapágó zajban valamennyi technológiai és gyártási hiba érezteti hatását. Megfelelő hangszigetelés hiányában a háttérzaj jelentős mértékben rontja a vizsgált csapágó zaj detektálhatóságának hatékonyságát, ezért célszerű hangszigetelt, visszhangmentes, direkt ilyen célra kialakított helyiségben végrehajtani a vizsgálatot. A mért zajszintet nemcsak a csapágó, hanem a méréshez használt készülék is befolyásolja, ezért a különböző zajvizsgáló berendezéseken kapott mérési értékeket nehéz egymással összehasonlítani. Ennek ellenére egy szerelt csapágó minősítésére – frekvencia analízátor alkalmazása esetén – a csapágó zajdiagramjából levonhatóak bizonyos következtetések.

4. AKUSZTIKUS EMISSZIÓ

Akusztikus emisszióknak nevezik az anyag belső szerkezetében felhalmozott, belső energia felszabadulásakor keletkező rugalmas hullámokat. Elsősorban statikus szerkezet ellenőrzésére alkalmazzák, azonban az utóbbi évtizedekben kiterjedt a forgó gépelemek élettartam-vizsgálatára is. Az üzemi terhelés alatt lévő forgó golyók, illetve görgők akusztikus emisszió forrásként működnek, amelyet a csapágyházra helyezett érzékelővel lehet detektálni. A vizsgálat legfőbb előnye, hogy képes a felszíni és felszín alatti mikroszkopikus károsodásokat is kimutatni. Az akusztikus emisszió segítségével az aktív hibák meghatározhatók a szerkezeten belül. Számos esetben bizonyították, hogy az akusztikus emisszió jobban alkalmazható a gördülőcsapágyak korai hibajelenségeinek megfigyelésére, mint a rezgésen alapuló diagnosztikák, ugyanis jelentős rezgésváltozást csak akkor figyelhetünk meg, ha a csapágnak a hátralévő élettartama már igen rövid. Ezen felül nem érzékeny a szerkezeti rezonanciára, illetve környezeti rezgésekre se. Az akusztikus emisszió jelerőssége nagyban függ a szerkezet komplexitásától, illetve a szenzor felhelyezési pontjától. Az akusztikus emisszió forrásai olyan anyaghibák, melyek terhelés hatására növekednek. Ebből következik, hogy akusztikus emisszióval megkülönböztethetők az aktív és passzív anyaghibák egy adott terhelés szinten. A forrás nemcsak anyaghiba lehet, hanem néhány olyan jelenség is, amely olyan hangjelenségeket produkálnak, amelyeket akusztikus emisszió műszerekkel is jól mérhetők (pl. súrlódás, szivárgás, felütődés, turbulens áramlás) [3-5].



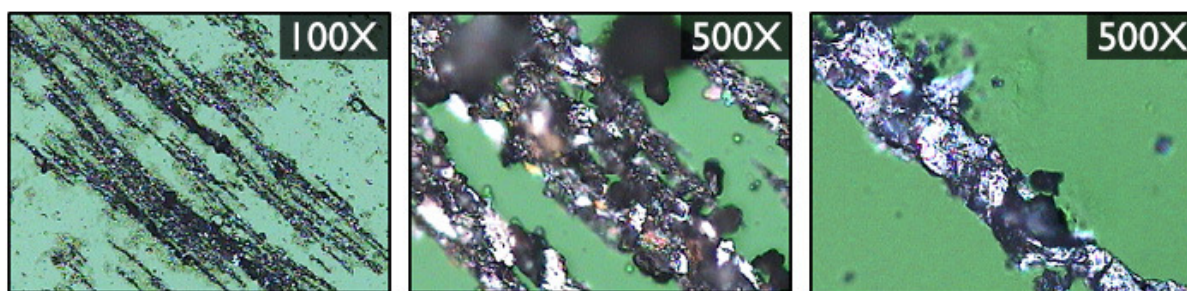
2. ábra. Akusztikus emisszió vizsgálat elvi vázlata [6]

5. HŐMÉRSÉKLETELEMZÉS

A csapágyak meghibásodását a csapágyelem működés közbeni szokatlan viselkedése jelezheti. A nem megfelelő működésre utalhat a megnövekedett csapágyhőmérséklet és az emelkedő csapágyzaj is. A hőmérsékletvizsgálat egyik nagy előnye, hogy a nem szükséges közvetlen kapcsolatot teremteni a vizsgált objektummal, egy adott távolságból is elvégezhetőek a mérések. Siklócsapágyak esetén a kenőolaj hőmérsékletét folyamatosan ellenőrizni kell. A kenőolaj dinamikus viszkozitása érzékeny a hőmérséklet-növekedésre, az üzemi hőmérséklettartományt átlépve már jelentős viszkozitás csökkenést jelentkezik, amely a siklócsapágy teljesítményét számottevően rontja.

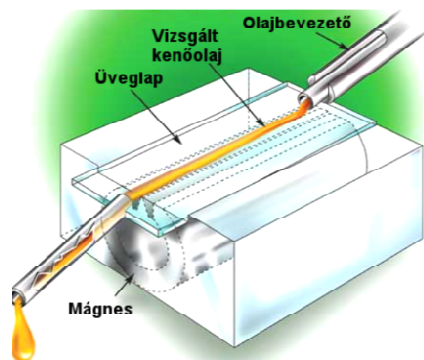
6. FERROGRÁFIÁS VIZSGÁLATOK

A kenőolajat - hűtés mellett - a súrlódás minimalizálására alkalmazzák, közvetlenül érintkezve a csapágy felületével. Üzem során ezek az érintkező felületek fokozatosan kopnak, ezáltal kopási részecskék kerülnek a kenőfilm rétegbe. A kenőkörből levett használt olajminták vizsgálata, kopásdiagnosztikája fontos információkat szolgáltat az üzemeltetett csapágykenés és kopás aktuális állapotáról. Kopási hulladék elemzésével meghatározhatjuk a különböző (csúszási, gördülési, dörzs, illetve összetett) súrlódási mechanizmusok jelenlétét, ugyanis a különböző súrlódások jellegzetes alakú kopási részecskéket eredményeznek. A mintavételezés helyének azt a pontot kell megválasztani, ahol a kopási részecskék az olajjal homogén keveréket képeznek. Ez egy keringető rendszer esetén, a visszavezető ág olajsűrítő előtti pontja. A kopási részecskék nagysága néhány mikrontól egészen 1000 mikronig is terjedhetnek. Számos vizsgálati módszer épült ki a részecske nagyságának elemzésére: mágnes dugók, chip detektorok, spektroszkópikus olaj vizsgálat, illetve ferrográfiai vizsgálat. A ferrográfiai vizsgálatot csapágyak kopásának elemzésére igen jól alkalmazható, ugyanis a széles részecskeméret spektrumot (10-300 mikron) fed le és a kenőkörbe is könnyen integrálható [8].



3. ábra. Ferrogram különböző nagyításokban [9]

Az analitikus ferrográfiai vizsgálat során a különböző kopásból származó részecskék szétválasztása egy külső változó erősségű mágneses mező segítségével valósul meg. A szétválasztás során a kopási részecskékből egy spektrumkép áll össze, amelyet ferrogramnak nevezünk. A ferrogram elkészítéséhez a mintavételezett kenőolajat egy átlátszó csúszkán vezetik át egy lassú állandó sebességgel. Az olajba különböző oldószerekkel hígítják a kopási részecskék üleptetésének javítása érdekében. A ferrográfban az üveg csúszka az álló mágneshez képest egy adott dőlésszöggel kerül beépítésre, ezzel létrehozva a változó mágneses mező erősséget. Mivel a beömlési pontban a mágneses térerősség a legkisebb, csak a legnagyobb kopási részecskék akadnak fent a csúszkán. A csúszkán átfolyatva a mintavételezett olajat a kopási részecskék skálákba rendeződnek, míg a nem fémes szennyezőanyagok (por, karbon, nem mágneses fémhulladék, hűtőfolyadék származék) a kiömlési pont előtt gyűlnek össze, amelyeket oldószerekkel távolítanak el a mikroszkópikus vizsgálat előtt. A vizsgálat alatt elsősorban mennyiségi értékelésesét kell elvégezni, vagyis a leválasztási útvonal belépési és kilépési pontjain meg kell határozni a részecske koncentráció nagyságát (pl. árnyékolóhatásukkal). Ez a két számérték nagysága arányos az olajban jelenlévő szilárd részecske mennyiségével [7].



4. ábra. Analitikus ferrográf berendezés [9]

Az analitikus ferrográf továbbfejlesztése az úgynevezett RPD ferrográf. Ennél a berendezésnél a részecskéket három körgyűrűben egy forgó részecskeülepítő készülékkel (RPD) ülepítik. Az RPD alkalmazásával a részecske szeparáció felgyorsul és leegyszerűsödik. Léteznek közvetlen leolvasású (DR) ferrográfok is. A DR ferrográfban az olajminta egy üvegcsővön halad keresztül eltérő erősségű mágneses mező alatt. Fénycsövek segítségével az üvegcsövet átvilágítják, amelyet a fényforrás másik végén fotocellákkal érzékelnek [8].

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SKF:** *Bearing failures and their causes*. Product information 401.
- [2] http://www.kingsbury.com/pdf/universe_brochure.pdf
- [3] **J.K. HALME:** *Condition Monitoring of Oil Lubricated Ball Bearing Using Wear Debris and Vibration Analysis*. 6th International Tribology Conference, Perth, Western Australia, December 2002.
- [4] **MASAYASU OHTSU, FARID UDDIN A.K.M.:** *Application of AE to Fracture Toughness and Crack Analysis by BEM in Concrete*. NDT.net, Vol. 7 No.09, 2002.
- [5] **SEYED A. N., TOMCY T., J.WESLEY H., RAPINDER S.:** *Analysis of Acoustic emission Data for Bearing subject to Unbalance*, International Journal of Prognostics and Health Management, 2013.
- [6] https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Intro.php
- [7] **VONNÁK I. P.:** *A hajtóművek és közlőművek diagnosztikai vizsgálata és állapot-prognózisa*. Repüléstudományi konferencia, Szolnok 2009.
- [8] **LIHUI W., ROBERT X. G.:** *Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing*, Springer Science & Business Media, 2006.
- [9] **SURAPOL RAADNUI** *Low-cost Used Grease Analysis for Rolling Element Bearings*, King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok, Thailand, 2004.

ICL8038 TÍPUSÚ PRECÍZIÓS HULLÁMFORMA GENERÁTOR FELÉPÍTÉSÉNEK ÉS MŰKÖDÉSÉNEK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA

INVESTIGATION AND COMPUTER AIDED SIMULATION OF PRECISION WAVEFORM GENERATOR TYPE ICL8038

TÓTH Lajos¹, NÉMETH Sándor²

¹Ph.D., egyetemi docens, elklil@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

²Villamosmérnök BSc hallgató, sany31@freemail.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

Kivonat: A félvezetőgyártók adatlapjaikon közlik az általuk gyártott áramkörök legfontosabb paramétereit. Ezek a villamos, termikus és dimenzionális paraméterek, melyek a tervezési folyamatot segítik. Bonyolultabb áramkörök esetében az adatlapban rendszerint csak a blokkvázlatot, egyszerűbb áramkörök esetében a funkcionális vagy helyettesítő kapcsolást találjuk meg. A teljes áramkör pontos viselkedésének leírása csak a gyártó által előállított szimulációs modell segítségével lehetséges. Speciális áramkörök esetében azonban ez rendszerint nem áll rendelkezésre. Ha a gyártó mégis közli, akkor legtöbbször csak titkosított formában teszi elérhetővé. Az ICL8038 esetében a gyártó adatlapján közölte az alkatrészértékekkel ellátott teljes kapcsolási rajzot. Ezzel lehetőség nyílik egy tömeggyártásban gyártott, kevert módú integrált áramkör belső felépítésébe és működésébe betekintést nyerni. Jelen munkában megvizsgáltuk az áramkör felépítését, működési elvét áramköri blokkonként és teljes egészében. A spice formátumú szimulációs modellt az adatlapon közölt kapcsolási rajzból állítottuk elő. Megvizsgáltuk a modell alkalmazhatóságát a modellen végrehajtott és a gyártó által elvégzett és publikált tesztmérések eredményeinek összehasonlításával. Azt találtuk, hogy a tranzisztormodellek hiányában pontos modell nem alkotható, csak egyszerűsített viselkedési modell vehető fel.

Kulcsszavak: áramkör szimuláció, SPICE, LTspice, ICL8038, hullámforma generátor

Abstract: The semiconductor manufacturers' data sheets show the most important parameters of the circuits they produce. These are electrical, thermal and dimensional parameters that help the design process. In the case of more complex circuits, only the block diagram is used in the datasheet. In the case of simpler circuits, functional or representative circuit is shown. The description of the exact behavior of the entire circuit is only possible with the simulation model produced by the manufacturer. However, in the case of special circuits it is usually not available. However, if the manufacturer does, it will most often only be available in encrypted form. For the ICL8038, the manufacturer's data sheet provided the complete wiring diagram with component values. This allows you to gain insight into the interior design and operation of a mass-produced mixed mode integrated circuit. In the present work we have examined the internal structure of the circuit, function of its circuit blocks and as a complete system. The spice format simulation model was prepared from the circuit diagram given on the datasheet. We investigated the applicability of the model by comparing the results of the tests carried out on the model and those made by the manufacturer. We have found that in the absence of transistor models an exact model can't be constructed, only a simplified behavioral model can be created.

Keywords: circuit simulation, SPICE, LTspice, ICL8038, waveform generator

1. BEVEZETÉS

A hullámforma előállítás az elektronikai alkalmazások esetében nélkülözhetetlen eljárás. Az információtovábbítás az esetek többségében valamilyen alapsávi modulációs eljárással történik. Az analóg áramkörök frekvenciatartománybeli viselkedését szinuszos vizsgálójellel, tranziens átvitelét négyszög jellel vizsgáljuk. A régi katódsugárcsőes televíziók vízszintes eltérítését fűrészfűréssel idézzük elő. A digitális áramkörök meghajtó jele négyszögjel. A rádiófrekvenciás áramkörök alapeleme a szinusz jelet előállító oszcillátor. Ezen hullámformák

előállításra alkalmas eszközöket hullámforma generátoroknak nevezzük. A hullámforma generátorok az elektronikai laborok nélkülözhetetlen eszközének tekinthető függvénygenerátorok alap építőelemei.

A hullámforma előállítása történhet diszkrét áramköri elemekből felépített kapcsolások vagy céláramkörök segítségével. Az integrált áramköri formában megvásárolható céláramkörök számos előnnyel rendelkeznek a diszkrét áramköri elemekből felépített áramkörökkel szemben. Egyrészt az integráltság miatt ezek nagyságrendekkel kisebb helyet foglalnak el a nyomtatott áramköri lapon, másrészt áruk a sorozatgyártásnak köszönhetően sokkal olcsóbb, mint a sok alkatrészből összeállított társaiké. Ráadásul az áramkörök árának nagy részét a tokozások ára teszi ki.

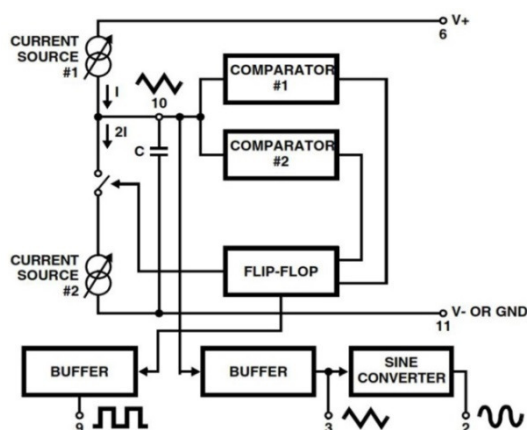
A cikkben az ICL8038 precíziós hullámforma generátor felépítésének és működésének szimulációs vizsgálatát mutatjuk be. Ez az áramkör ugyan mára elavult konstrukciónak tekinthető, de talán ennek köszönhetően a gyártó rendelkezésre bocsátotta a belső felépítést bemutató teljes kapcsolási rajzot az alkatrész adatlapon. Ezáltal lehetőség nyílik egy kereskedelmi forgalomba hozott integrált áramkör belső felépítésébe és működésébe betekintést nyerni.

Bemutatásra kerül az áramkör felépítése, az egyes áramköri blokkok funkciójának és működésének részletes ismertetése. A működés vizsgálatát áramköri szimuláció segítségével hajtottuk végre. Bemutatjuk az egyes áramköri blokkok működését önmagukban, és mint a teljes rendszer funkcionális építőelemeként is.

2. AZ ÁRAMKÖR FELÉPÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

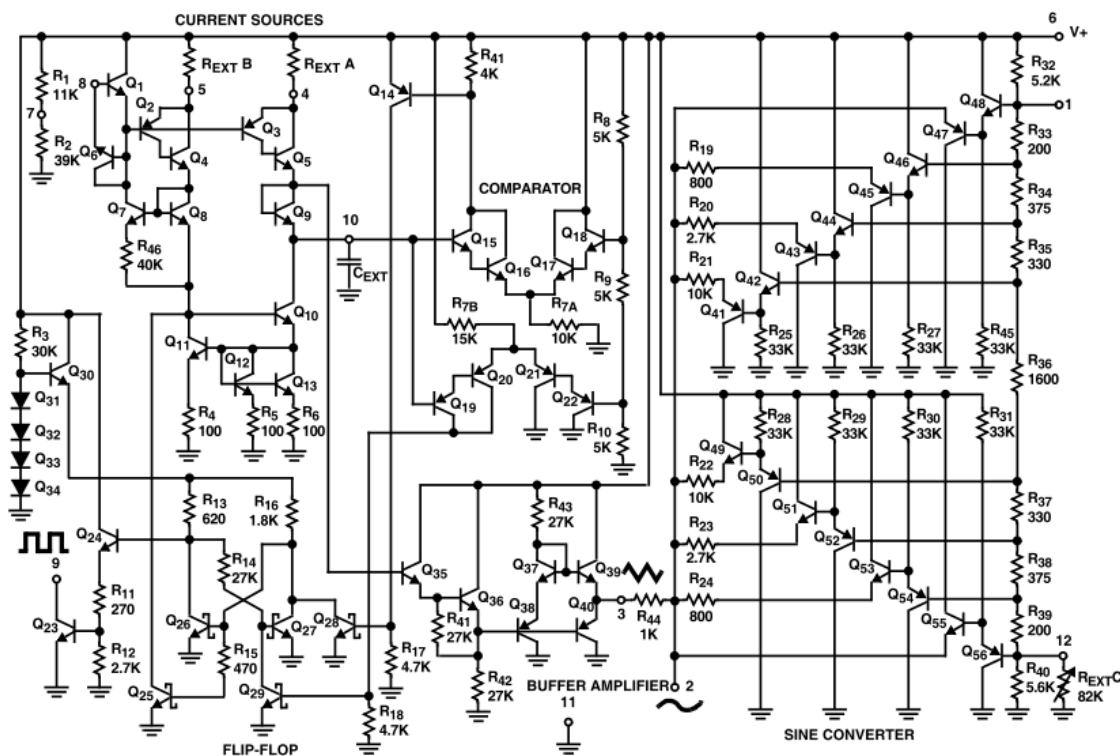
Az ICL8038 precíziós hullámforma generátor egy monolit technológiával készült integrált áramkör melyet az amerikai székhelyű Intersil félvezetőgyártó gyártott. Az Intersil tápmenedzsment áramkörök, analóg és kevert módú félvezető-áramkörök fejlesztésével és gyártásával foglalkozik. A cég napjainkra a világ első számú mikrovezérlő gyártójának, a Tokiói székhelyű Renesas-nak egyik tengerentúli leányvállalata lett [1].

Az IC képes szinusz, háromszög, négyszög, fűrészfél és feszültség impulzusok nagy pontosságú előállítására. A frekvenciatartomány az eszközön kívülről állítható a 0.001Hz és 300kHz között ellenállások és kondenzátorok segítségével. Az eszközt alacsony frekvencia drift (250ppm/°C), alacsony torzítás (1% - szinusz kimenet esetén), nagy linearitás (0.1% - háromszögjel esetén), 2% és 98% között változtatható kitöltési tényező és nagy kimeneti feszültségtartomány (TTL - 28V) jellemzi. Az áramkört kétsoros furatszerelt (DIP) műanyag vagy kerámiatokozásban gyártották [2].



1. ábra Az ICL 8038-as funkciógenerátor blokkvázlata [2]

Az áramkör blokkvázlata az 1. ábrán kapcsolási rajza a 2. ábrán látható. Az áramkör funkcionális egységei szempontjából tartalmaz két áramgenerátort, két áramtükört, egy indítóáramkört, egy flip-flop-ot, két komparátort két buffer áramkört és egy háromszög-színusz konvertert.



2. ábra Az ICL8038-as IC belső felépítése [2]

2.1. Indítóáramkör

A több munkaponttal rendelkező áramkörök megfelelő munkapontba állításának biztosítására indító vagy Start-up áramköröket szoktak alkalmazni. Ezek az áramkörök a feladatuk befejeztével rendszerint kis fogyasztású állapotba kapcsolnak át. Az IC indító áramkörét a Q30 tranzisztor, Q31-Q34 diódák és az R3 ellenállás alkotja (2. ábra).

A Start-up áramkör ebben az esetben feszültséggenerátorként működik, emitter követő kapcsolásban. Az R3 ellenállás a diódák áramát állítja be. A négy dióda ezért hozzávetőlegesen 2,1V feszültséget kényszerít a Q30-as tranzisztor bázisára. A tranzisztor emitterén ennél 0,6V-al kisebb feszültség jelenik meg. Az áramkör nem kapcsol ki mint a szokásos Start-up áramkörök, hanem folyamatosan táplálja a Flip-Flop áramkört.

2.2. Áramgenerátorok

Az áramgenerátorok feladata, egy adott terhelésen annak értékétől független állandó áram biztosítása. Az ICL8038-as esetében a Q2-Q5 tranzisztorok valamint az RextA és RextB alkotta áramgenerátorok az IC-hez kívülről csatlakoztatható Cext kondenzátort töltik és sütik ki konstans árammal (2. ábra). A töltőáram nagyságát az RextA, a kisütő áram értéket pedig az RextB ellenállás értéke határozza meg.

Mivel egy kondenzátort állandó árammal töltve annak feszültsége az időben lineárisan, az áram nagyságával arányosan nő, a kondenzátor háromszög vagy fűrészfél jelalak előállítására

felhasználható. A töltő- és kisütő áram nagyságának változtatásával a periodikus jel kitöltési tényezője és így frekvenciája változtatható. Ez az alapja az IC frekvencia modulációs képességének is. Állandó frekvenciájú hullámforma előállításra az R1, R2 beintegrált feszültségosztó 7-es pontját a 8-as lábbal összekötve a tápfeszültség 0,22 részét kényszerítjük a 4 és 5 pontokra. Frekvenciamoduláció esetén a moduláló feszültséget kell a 8-as pontra kötni.

2.3. Komparátor

A komparátor áramkör alapját a Q15-Q22 tranzisztorok valamint a terhelésként funkcionáló R7A és R7B ellenállások alkotják (2. ábra). A komparátor összehasonlítja az áramgenerátorok által töltött és kisütött Cext kondenzátor feszültségét az előre beállított referencia feszültségekkel. A referenciafeszültséget az R8-R10 ellenállásokból álló feszültségosztó szolgáltatja. Ezek az ellenállások a tápfeszültséget három egyenlő részre osztják.

A komparátor áramkör két részre bontható. Mindkét rész valójában egy visszacsatolás nélküli differenciálerősítő. A visszacsatolás nélküli differenciálerősítő jellemzője, hogy transzfer karakterisztikája csak nagyon kis bemeneti feszültség tartományban tekinthető lineárisnak. Ettől nagyobb szimmetrikus bemenő feszültség esetén, ami alig négyszerese a termikus feszültségnek (104mV), az áram túlnyomórészt már csak az egyik ágban folyik [3]. Ebben az állapotban a differenciál erősítő kapcsolózúzemben, komparátorként működik.

Az áramkör felső része a töltési folyamat leállításáért felelős. Egytelepes, 10V-os táplálást feltételezve, az R8 és R9 ellenállás közös pontján a feszültség szint 6,6V értékű lesz. Ez jut a Q18-as tranzisztor bázisára. A Q18 a Q17-el, a Q15 a Q16 tranzisztorral együtt Darlington párt alkotnak. Mivel szimmetrikus a kapcsolás ezért a billenési feszültség is 6,6V lesz.

Az IC-hez kívülről kapcsolandó Cext kondenzátort az első áramgenerátor konstans árammal tölti. A kondenzátor feszültsége lineárisan nő egészen addig, amíg el nem éri a Q18 tranzisztor bázisára kényszerített referenciafeszültséget. Ekkor a komparátor átbillen és bekapcsolja a második áramgenerátort, ami ugyancsak konstans árammal elkezd kisütni a kondenzátort.

Az áramkör alsó része a kisütési folyamat leállításáért felelős. Kialakítása az előzőhöz hasonló. A Q22 tranzisztor bázisa a tápfeszültség 1/3-án, jelen esetben 3,3V-on lesz. Amikor a kondenzátor feszültsége kisülés közben eléri a Q22-es tranzisztor bázisán mérhető feszültség szintet, a komparátor átkapcsol és a töltési folyamat ismét elkezdődik.

A töltési és kisütési folyamat a Flip-Flop áramkör logikai „1”-be állításával és törlésével történik, melyet a komparátorok vezérelnek a Q28 és Q29 tranzisztorokon keresztül.

2.4. Flip-Flop

A Q25-Q27 schottky tranzisztorok az R13-R18 ellenállásokkal S-R Flip-Flop-ot (FF) alkotnak (2. ábra). A FF feladata a töltési és kisütési folyamat aktuális állapotának tárolása, ennek megfelelő kimeneti négyzögjel előállítása valamint az áramgenerátorok vezérlése.

A FF kimeneti pontja a Q26 schottky tranzisztor emittere. A visszacsatoló ágak ellenállás különbsége biztosítja, hogy a tároló minden bekapcsoláskor ugyanazt a kezdeti állapotot veszi fel. Ez a FF kimenetére nézve alacsony jelszintet jelent. A FF beíró bemenete a Q28 tranzisztor bázisa, törlő bemenete a Q29 tranzisztor bázisa. Ezeket a bemeneteket a korábban tárgyalt komparátorok vezérlik. Az áramgenerátorok vezérlése a Q25 tranzisztoron keresztül történik.

2.5. Wilson áramtükör

A Wilson áramtükört a Q10-Q13 tranzisztorok és R4-R6 ellenállások alkotják (2. ábra). A töltőáramot a korábban említett Q3 és Q5-ből felépített komplementer Darlington tranzisztor vagy más néven Sziklai pár, valamint a RextA ellenállás állítja elő.

A kisütő áram iránya a Cext kondenzátor szempontjából a töltőárammal ellentétes. Ezt az áramot a Q2 és Q4-ből felépített Sziklai pár és az RextB hozza létre. A töltőáramot előállító áramgenerátor állandóan működik. A Cext kondenzátor kisütéséhez az RextB áramát Wilson áramtükör segítségével megkészszeresszük. Ez az áram a töltőárammal szemben folyik és a Q9, Q10 közös pontjára nézve összegződve - RextA és RextB egyenlősége esetén - a töltőáram nagyságával egyezik meg. Az első áramgenerátorba történő visszatáplálást a Q9 tranzisztorból kialakított dióda akadályozza meg.

A Wilson áramtükör csak a kisütési fázisban működik. Ennek vezérlése a Flip-Flop Q25 tranzisztorán keresztül történik.

2.6 Widlar áramtükör

A Q7 és Q8 tranzisztorok a R46 ellenállással Widlar áramtükört alkotnak (2. ábra). Ez az egység az áramgenerátor munkapontját stabilizálja. A Q6 tranzisztorból kialakított dióda a Q1 bemeneti, tranzisztort véd az emitter bázis letörési feszültség túllépése ellen.

2.7 Háromszög szinusz konverter

A háromszög-szinusz konvertert a Q41-Q56 tranzisztorok és az R19-R45 ellenállások alkotják (2. ábra). Az áramkör működési elve a szinusz hullám törtvonalas közelítésén alapul. Minél több töréspontot veszünk fel annál jobb lesz a közelítés jósága. Ennek mértéke a Teljes harmonikus torzítás (THD). A [4] szerint 12 töréspontos közelítéssel már 0.8%-os torzítási tényezőt is el lehet érni.

Az R32-R40 ellenállások feszültségosztót alkotva nyolc referencia feszültséget állítanak elő szimmetrikusan a tápfeszültséglábak közé maximálisan kapcsolható 36V feszültségből. Az IC lehet kételepes (+V és -V) vagy egytelepes táplálású (+V és GND).

A konverter jól láthatóan két egyforma részre bontható, melynek alsó része a szinusz jel negatív, míg a felső része a szinusz jel pozitív részét állítja elő. A konverter bemeneti jele a buffer erősítő kimenetén megjelenő maximum $\pm 3V$ amplitúdójú, szimmetrikus, háromszög jel.

Az R19-R24 ellenállások az R44 ellenállással feszültség osztót képeznek. Az osztón nem folyik áram ameddig a PNP tranzisztorok bázis-emitter diódái zárva vannak. A diódák akkor nyitnak, ha bemeneti háromszög jel nagyobb, mint az egyes referencia feszültség szintek. Az első és második referencia feszültség között a Q41-es bázis-emitter diódái nyitva vannak és így az R44 az R21-el feszültségosztót képez. Az osztó közös pontja egyben a konverter kimeneti pontja. A kimeneti jel meredeksége ezért a (1) képlettel számolható.

$$m = \frac{R_{21}}{R_{44} + R_{21}} = 0.9 \quad (1)$$

ahol:

m – a közelítő egyenes meredeksége.

A második és a harmadik referencia feszültség szint között Q43-as tranzisztor is kinyit. Ez azt eredményezi, hogy az R20-as ellenállás párhuzamosan kapcsolódik az R21 el. A kimeneti jel ezért itt már kisebb meredekséggel simul rá az elméleti szinusz jelalakra. Ebben a feszültség tartományban a kimeneti jel meredeksége $m = 0.68$. Ugyan ez az elv érvényesül a többi NPN-PNP tranzisztor párra is. A meredekségek rendre $m = 0.37$ és $m = 0$ lesznek. A negatív fél periódust ugyan ezen az elven felépített áramkör szolgáltatja.

2.8 Buffer áramkörök

A buffer áramkör feladata az áramkörben az impedancia illesztés. Az egyik buffer a Flip-Flop áramkört illeszti az IC négyszögjel kimenetére, a másik a kondenzátorhoz illeszti a háromszög-jel kimenetet és a háromszög-szinusz konvertert.

A Q24-es tranzisztor emitter követő kapcsolásban kapcsolja a pozitív tápfeszültséget az R11 és R12 osztón keresztül a Q23 tranzisztor bázisára (2. ábra). Az IC négyszögjel kimenete nyitott- kollektoros kapcsolású.

A másik buffer áramkört a Q35-Q40 és R41-R43 ellenállások alkotják. A háromszög-szinusz konverter bemeneti árama a milliampères tartományba esik. Az áramgenerátorok a Cext kondenzátort mikroampères nagyságú árammal töltik és sűtik ki. Ennek optimális értéke a [2] szerint $10\mu A$ és $1mA$ között van. Azért, hogy sem a háromszög- szinusz konverter sem a háromszögműködésre kívülről csatlakoztatható terhelés ne terhelje le az áramgenerátorokat buffer áramkört kell alkalmazni. A buffer nagy bemeneti impedanciáját az emitter követő kapcsolásban működő Q35-Q36 Darlington pár adja. Az R41 a munkaponti áramot állítja be. A buffer kimeneti fokozata is emitter követő kapcsolású.

3. AZ ÁRAMKÖR SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA

Az áramkör szimulációs vizsgálatát a Linear Technology Corporation LTspice programja [5] segítségével végeztük el. Az IC gyártói adatlapján megtalálható kapcsolási rajzból elkészítettük az IC részáramköri modelljét. Mivel nem álltak rendelkezésre a gyártói alkatrészmodellek ezért a tranzisztorokat általános NPN és PNP, a diódákat általános kisjelű dióda modellekkel helyettesítettük (3. ábra). Emiatt a szimuláció eredményeként létrejövő adatok előreláthatólag is csak jellegében tudják leírni az áramkör működését. Pontos mérési adatok ekképpen nem nyerhetők. Kíváncsiak voltuk azonban arra, hogy az eltérés mennyire lesz számottevő.

```
.model NMOD NPN(IS=2.375E-14 NF=0.9925 ISE=5.16E-16 NE=1.3 BF=524.9
+ IKF=0.09 VAF=49.77 NR=0.9931 ISC=7.064E-12 NC=1.78 BR=10.04 IKR=0.132
+ VAR=16 RB=10 IRB=5.00E-06 RBM=5 RE=0.653 RC=0.78 XTB=0 EG=1.11 XTI=3
+ CJE=1.132E-11 VJE=0.7685 MJE=0.3733 TF=4.258E-10 XTF=6.319 VTF=6.4 ITF=0.1845
+ PTF=0 CJC=3.379E-12 VJC=0.5444 MJC=0.3968 XCJC=0.6193 TR=0.000000095
+ CJS=0 VJS=0.75 MJS=0.333 FC=0.999 Vceo=45 Icrating=100m mfg=NXP)

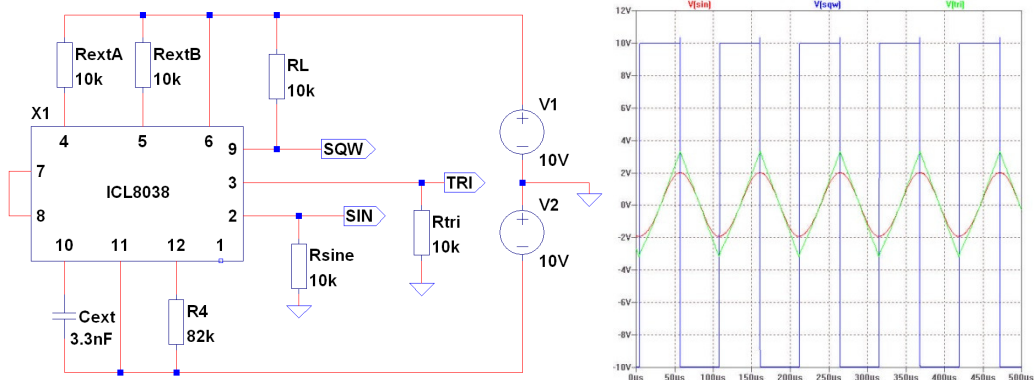
.model PMOD PNP(IS=3.258E-14 NF=0.999 ISE=3.003E-15 NE=1.45 BF=515.4
+ IKF=0.066 VAF=25 NR=0.9985 ISC=4.393E-15 NC=1.2 BR=15.26 IKR=0.039
+ VAR=8 RB=10 IRB=5.00E-06 RBM=5 RE=0.7071 RC=0.58 CJE=1.024E-11
+ VJE=0.9 MJE=0.453 TF=5.971E-10 XTF=4.137 VTF=6.31 ITF=0.2108 PTF=0
+ CJC=6.345E-12 VJC=0.4254 MJC=0.423 XCJC=0.6288 TR=0.000000035
+ CJS=0 VJS=0.75 MJS=0.333 XTB=0 XTI=3 EG=1.11 FC=0.78
+ Vceo=45 Icrating=100m mfg=NXP)

.model DMOD D(Is=2.52n Rs=.568 N=1.752 Cjo=4p M=.4 tt=20n lve=200m Vpk=75 mfg=OnSemi type=silicon)
```

3. ábra. A szimuláció során használt félvezető modellek

A tesztáramkör kapcsolási rajza és a kimeneti hullámformák a 4. ábrán láthatók. Mindegyik kimeneti jel 10kHz frekvenciájú. A négyszögjel a tápfeszültség értékeket veszi fel. A háromszögjel a tápfeszültség szint $\pm 1/3$ -a között változik. A szinusz jel amplitúdóját az 1-es

és 12-es bementi pontokra kötött ellenállások értéke, illetve az IC belsejében lévő R32-R40 ellenállások (2. ábra) határozzák meg. A szinusz jel THD értéke ebben az esetben 2.24%. Az adatlapon szereplő 1%-os THD értéket semmilyen beállítással nem tudtuk elérni.

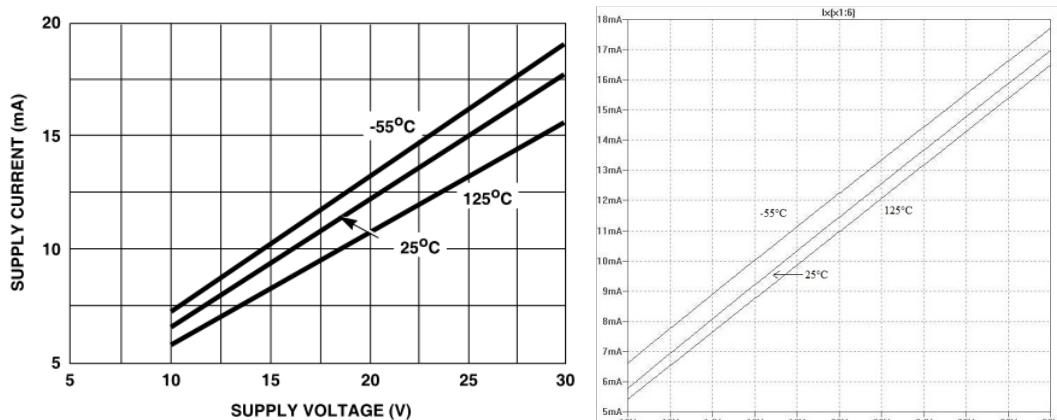


a) Tesztáramkör kapcsolási rajza

b) szimulációs eredmény

4. ábra. Tesztáramkör kapcsolási rajza és a kimeneti jelalakok

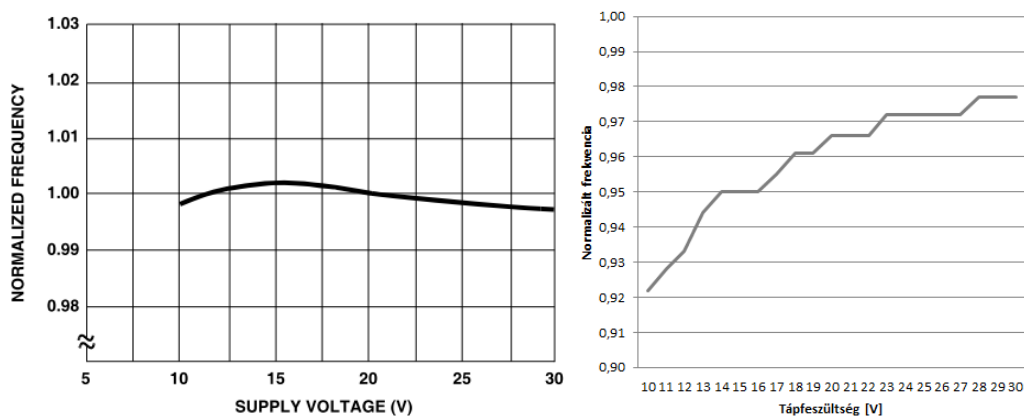
Megvizsgáltuk a modell áramfelvételének tápfeszültség és hőfokfüggését (5. ábra). A szimulált áramértékek jól közelítették a gyári adatlap értékeit 10V-os tápfeszültségnél. A szimulált áram hőmérsékletfüggése azonban meredekségében eltér a gyári adatoktól.



a) gyári adatok [2]

b) szimulációs eredmény

5. ábra. Felvett áram tápfeszültség és hőmérsékletfüggése

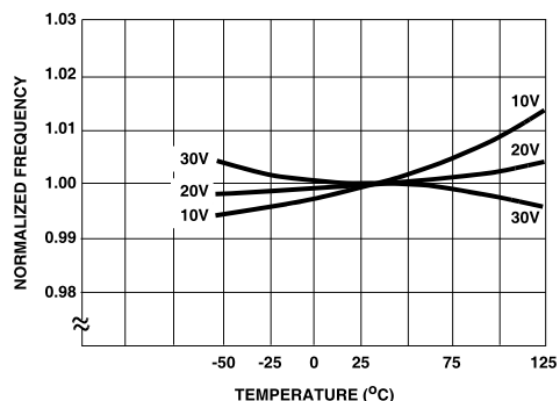


a) gyári adatok [2]

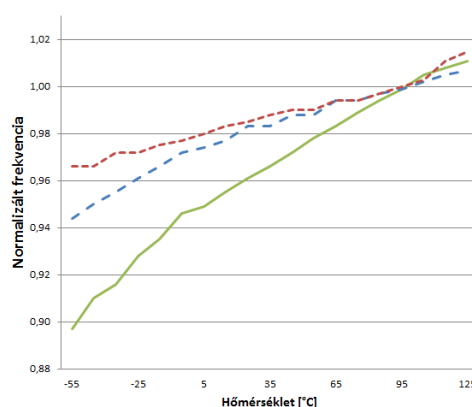
b) szimulációs eredmény

6. ábra. Normalizált frekvencia tápfeszültség függése

Megvizsgáltuk a modell kimeneti jel normalizált frekvenciájának tápfeszültség függését (6. ábra). A normalizálást az elméleti 10kHz-es frekvenciára végeztük el. A szimulációs eredmény jelentős eltérést mutatott a gyári adatokhoz képest.



a) gyári adatok [2]



b) szimulációs eredmény

7. ábra. Normalizált frekvencia hőmérséklet és tápfeszültség függése

Végezetül megvizsgáltuk a modell kimeneti jel normalizált frekvenciájának tápfeszültség és hőfokfüggését (7. ábra). Ebben az esetben is jelentős az eltérés a gyári és a szimulált áramköri adatok között. A gyári adatlap szerint a szobahőmérséklet tartományban, kb. 27-30°C környékén várható az kimeneti frekvencia tápfeszültség függetlensége. A szimulált modell esetében viszont ez az érték 95 °C környékére tolódik el.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben részletesen bemutatunk az Intersil gyártmányú ICL8038 precíziós hullámforma generátor felépítését és szimulációval igazoltuk az áramkör adatlapjában közzétett kapcsolási rajz helyességét. Előállítottuk a kapcsolási rajz alapján az IC részáramköri modelljét. Az áramköri szimuláció elvégzéséhez az ingyenes LTspice szimulátort használtuk. Megvizsgáltuk a modell alkalmazhatóságát a modellen végrehajtott és a gyártó által elvégzett illetve publikált tesztmérések eredményeinek összehasonlításával. Ugyan a gyári adatlap tartalmazta az teljes áramkör kapcsolási rajzát, de semmilyen információ nem állt rendelkezésre az IC-ben található tranzisztorok és diódák villamos paramétereiről. Ezért a szimulációk elvégzése után azt tapasztaltuk, hogy a rendelkezésre bocsátott kapcsolási rajz alapján pontos szimulációs modell így nem alkotható, csak az áramkör működését jól leíró egyszerűsített viselkedési modell vehető fel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **RENESAS** Electronics Europe honlapja: <https://www.renesas.com/en-eu/>
- [2] **INTERSIL**, *ICL8038 Precision Waveform Generator/Voltage Controlled Oscillator datasheet*, <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl8/icl8038.pdf>
- [3] **KOVÁCS E.**: *Elektronika I előadás jegyzet*. 2013, Miskolci-Egyetem.
- [4] **U. TIETZE, CH. SCHENK, E. GAMM**, *Electronic Circuits, Handbook for Design and Application*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002, ISBN: 978-3-540-00429-5
- [5] **LINEAR TECHNOLOGY** honlapja: <http://www.linear.com>

OXIDATÍV LEBONTÁSRA IRÁNYULÓ MÓDSZERFEJLESZTÉSEK BIOLÓGIAILAG NEM VAGY NEHEZEN BONTHATÓ SZERVES ANYAGOKKAL TERHELT FELSZÍNI ÉS FELSZÍN ALATTI VIZEK IN SITU TISZTÍTÁSÁRA

METHODS DEVELOPMENT FOR OXIDATIVE DEGRADATION IN SURFACE AND GROUNDWATER LOADED BY NON OR HARDLY BIODEGRADABLE ORGANIC POLLUTANTS

TRUZI Alexandra¹, BODNÁR Ildikó², VARGA József³

¹okl. környezetmérnök, környezetvédelmi tanácsadó, truzsi.alexandra@imsys.hu

¹IMSYS Kft., Debreceni Egyetem Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék H-4028, Debrecen, Ótmető u. 2-4.

²Ph.D., tanszékvezető főiskolai tanár, bodnari@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék H-4028, Debrecen, Ótmető u. 2-4.

³ügyvezető, varga.jozsef@imsys.hu

³IMSYS Kft. H-1033, Budapest, Mozaik u. 14/A.

Kivonat: Hazánkban számos olyan terület ismert, amelyeken a korábban történt környezetszennyezések következtében a szennyező anyagok nagy mélységekbe eljutottak és ahonnan eltávolításuk mélyépítési technológiákkal már nem lehetséges. A szennyezések megszüntetésére in-situ kémiai és biológiai módszerek lehetnek alkalmasak. A természetes úton nehezen lebomló, ún. perzisztens szennyezők között jelentős számban fordulnak elő növényvédő szerek is. A környezetbe jutva ezek a készítmények megmaradhatnak a talajban, annak különböző részecskéihez kapcsolódva, de a talaj kémiai összetételétől függően a talajvízbe is bekerülhetnek. Károsíthatják az egészséget és a környezetet, illetve elszívárgásuknak komoly következményei lehetnek a felszíni vizek és az ivóvíz minőségére, illetve a többi vizes élőhelyre. A módszerfejlesztési tapasztalatok hatékonyan segíthetik az elszennyezett területek megtisztítását, mely várhatóan hozzájárul ezen területek remediációjához.

Kulcsszavak: oxidatív lebontás, peszticid hatóanyagok, in situ kármentesítés

Abstract: There are numerous areas within our country, where environmental pollution occurred formerly and the contaminants have reached great depths, therefore their removal is no longer possible by civil engineering techniques. In situ chemical and biological methods can be used to eliminate impurities. Pesticides are very frequent type of hardly biodegradable organic pollutants. When they are placed in the environment, these chemicals may remain in the soil, depending on their various particles, and the groundwater can also be contaminated depending on the chemical composition of the soil. They can be harmful for the human health and for the environment, and their leakage can cause serious consequences on surface water and drinking water quality and other wet habitats. Purification of contaminated sites can be helped by the experiences acquired from methods development, and this may contribute to the remediation of these areas.

Keywords: oxidative degradation, pesticide agents, in situ remediation

1. A KUTATÁSI PROJEKT BEMUTATÁSA

Az IMSYS Mérnöki Szolgáltató Kft. pályázatot nyert el a GINOP-2.1.1-15-2015. kódszámú felhívás kapcsán, mely keretében *Biologailag nem vagy nehezen lebontható szerves anyagok vegyi kezelésének kutatása és technológia kifejlesztése speciális ipari szennyvizek és felszín alatti szennyezett vizek in situ tisztítására* címmel végez módszerfejlesztést a megadott környezetvédelmi témában. A cég és a Műszaki Kar együttműködésében a Műszaki Karon, valamint azon belül a Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék által koordinált laboratóriumokban a projekt keretében beszerzett Agilent

gyártmányú 1260 Infinity I UHPLC típusú mérőkészülékkel együtt rendelkezésre áll a szükséges mérnöki és analitikai háttér, mely biztosítja a kutatáshoz kapcsolódó egyéb költségeket és messzemenően segíti a tervezett kutatómunka eredményes lebonyolítását.

2. A HAZÁNKBAN TALÁLHATÓ FELSZÍNI ÉS FELSZÍN ALATTI VÍZKÉSZLETEK SZENNYEZETTSÉGÉNEK MÉRTÉKE, SZENNYEZŐIK

A vízvédelem és a szennyeződések kontrolljának az eddigi gyakorlatában elsősorban a pontszerű (helyi) szennyeződésekre fordítottak figyelmet, és gyakran elkerülték a nehezebben regisztrálható és ellenőrizhető területi forrásokat. Ezek azonban a becslések szerint közel a felét teszik ki a vizekbe beáramló összes szennyeződésnek. A területi szennyeződések jellege, összetétele és dinamikája időben és térben jóval nagyobb változékonyságot mutat, mint a tipikus pontszerű szennyeződési források [1].

Pontforrásból a szennyező anyag csővezetéken, vagy nyílt csatornán keresztül jut a felszíni vagy felszín alatti vizekbe pl.: üzemi szennyvíz szennyvíztisztítókból, olajvezetékekből származó szennyvíz, hígtrágya tárolóból kiszivárgó víz. A pontszerű szennyező forrás viszonylag könnyen azonosítható a kibocsátás jellege alapján és szennyező hatása is jól mérhető. Ennek következtében a szükséges intézkedések, műszaki beavatkozások egyértelműen meghatározhatók.

Diffúz forrásból a szennyező anyag nagyobb térbeli kiterjedésben kerül a vízbe pl.: szántóföldekről a vízbe mosódó növényi tápanyagok, peszticidek, települések hulladéklerakóiból kimosódó szennyvíz. Diffúz szennyező forrás esetében a szennyezés összetett, természetes és antropogén tevékenységtől függő folyamatai miatt nehezen azonosítható [2].

Korunkban a mezőgazdasági termelés nem tud megfelelni az elébe állított követelményeknek a növényvédő szerek alkalmazása nélkül. A felhasználásuk jellegéből adódik azonban, hogy a leg gondosabban elvégzett kezelés során sem kerülhető el, hogy a kijuttatott szerek bizonyos hányada valamilyen mértékben ne szennyezze a környezetet. Elsősorban a talaj, a felszíni és a felszín alatti vizek szennyeződésének veszélyével kell számolni. Ez a tény megköveteli, hogy a kijuttatott anyagok megjelenését a felszíni és talajvizekben nyomon kövessük, melyhez megfelelő teljesítőképességű, korszerű analitikai eljárások szükségesek [3].

2.1. Növényvédő szerek sorsa a környezetben, a felszíni és felszín alatti vizekben

Peszticid szennyezések előfordulása a felszíni és felszín alatti vizekben egyrészt ezen anyagok nem megfelelő kezeléséből, esetleg ipari, kereskedelmi, vagy mezőgazdasági balesetekből adódhat. Másrészt azonban megjelenhetnek ezek az anyagok a vizekben helyes mezőgazdasági gyakorlat alkalmazása esetén is. Ebből a szempontból a következő tényezőknek van jelentősége:

- esővíz általi bemosódás a talajba, a telítetlen rétegen keresztül a talajvízbe,
- gravitációs úton történő bejutás a felszíni vizekbe és a lehetséges tározókba,
- a kezelt területekről (növényekről és talajokról) történő felszíni lefolyás és bejutás a felszíni vizekbe és a lehetséges tározókba,
- a felszíni vizek közvetlen szennyeződése a vegyszerek elsodródása által,
- peszticidek felhalmozódása a csapadék által és egyéb atmoszférából történő kiülepedés.

Általánosságban elmondható, hogy különösen a sekély talajvíz rétegekben nem létezik abszolút védelem a szennyeződésektől. A talajban a növényvédő szer hatóanyagok a talaj szerkezetétől erősen függő speciális körülményeknek vannak kitéve. Ennél fogva sorsuk a környezetben csak komplex, hosszúidejű monitoring segítségével írható le. A különböző forrásból származó peszticidek sokféle, eltérő úton juthatnak a víztestekbe és a talajvízbe. A szennyeződést elsősorban a mezőgazdasági tevékenység okozhatja, de utak, terek, ipari- és sportlétesítmények kezelése, valamint a szerek házikerti és egyéb otthoni használata is hozzájárul. Speciális veszélyforrást jelent a vasúti pályák gyomirtása [4].

3. A FELSZÍNI ÉS FELSZÍN ALATTI VIZEKRE VONATKOZÓ KÜLÖNBÖZŐ POTENCIÁLIS TISZTÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK ÉS HATÉKONYSÁGUK ISMERTETÉSE

A különböző tisztítási technológiák helyszín szerint alapvetően két csoportba sorolhatók. Az első csoportnál a mentesítendő közeg kitermelésével és elszállításával, vagy a kezelést követő visszajuttatással járó ex situ (nem eredeti helyzetben) technológiákról beszélhetünk. Ezek közül gyakran alkalmazott megoldás az aktívszenes szűrés, amelynek során a kitermelt szennyezett talajvizet egy aktívszenet tartalmazó szűrőn szivároztatjuk át. Az aktívszen felületén a szerves szennyezők adszorbeálódnak. Az UV oxidáció esetében az erős oxidálószer és az UV sugárzás a vízben található szerves szennyezőket szétroncsolja. A szennyezőanyag oxidációja oxidálószeres, UV fotolízis és UV sugárzás, valamint ózon vagy hidrogén-peroxid segítségével történik. Amennyiben a teljes lebontás kialakul, akkor a folyamat végterméke szén-dioxid, víz és különböző sók. Az UV oxidáció legnagyobb előnye, hogy roncsolásos melléktermék nem keletkezik, azaz a szennyezők veszélytelen formában a vízben maradnak [5].

A második csoportnál a szennyezett földtani közeget vagy felszín alatti vizet olyan eljárásokkal tisztítják meg, melynek során kitermelésre nem kerül sor, illetve a felszín alatti víz esetében az a munkaterületen belül visszaszikkasztásra kerül, ekkor in situ (eredeti helyzetben) technológiákról beszélhetünk. Ezek közül kiemeljük a levegőztetést (fizikai eljárás), mely során a talajvíz és a levegő kölcsönhatási felületének növelése a cél. A levegő bejuttatásának célja a biológiai lebontás sebességének a növelése, mellyel lehetővé válik, hogy a levegő a lehető legnagyobb felületen érintkezzen a vízzel. Az intenzifikált bioremediációnál (biológiai eljárás), a szerves szennyezők biológiai lebontása talajvízben, felszíni vizekben vagy csurgalék vizekben az elektron akceptorok és a tápanyagok koncentrációjának növelésével fokozható. Kémiai eljárásként pedig az elektrokinetikus elválasztást célszerű megemlíteni, mely során elektrokémiai és elektrokinetikus folyamatok segítségével a fémeket és a poláris szerves szennyezőket távolítjuk el rossz áteresztő képességű talajokból, iszapokból. A mentesítés alapja, hogy a talajba helyezett kerámia elektródák között elektromos potenciálkülönbséget hoznak létre egyenárammal [6].

A projekthez kapcsolódó esetleges kármentesítési technológia elsősorban in-situ kémiai és biológiai módszereket alkalmazna, ezáltal fontosnak tartjuk, hogy a kutatás során néhány általunk kiválasztott peszticid hatóanyag oxidatív lebontási lehetőségeit (ferrát, káliumperszulfát, hidrogén-peroxid, ózon, peroxomonoszulfát-ion, stb.) tanulmányozzuk és a reakciók körülményeit optimalizáljuk modelloldatok segítségével. A módszerfejlesztés során kapott eredmények pedig várhatóan hatékonyan segíthetik a biodegradáció hatásfokának növelését egy tervezett kármentesítésnél.

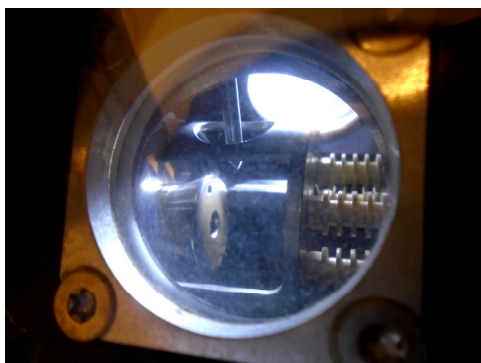
4. MÓDSZERFEJLESZTÉS CÉLJA

A tervezett kutatómunka a térségünkben előforduló növényvédő szerek által szennyezett felszíni vizek és talajvizek, szennyeződési göcök potenciális kármentesítéséhez tervez egyrészt peszticid-tartalom vonatkozásában analitikai módszertani háttérrel kidolgozni és biztosítani, mely megoldások a hatóanyagok és származékainak azonosításában jutnak szerephez. A kutatómunka további fázisában laboratóriumi körülmények között különböző oxidatív módszerekkel tanulmányozzuk néhány kiválasztott peszticid hatóanyag oxidatív lebontási lehetőségeit és ezen reakciók körülményeit optimalizáljuk. A kezelések eredményei várhatóan hatékonyan segítik a tervezett kármentesítésben következő lépésként tervezett biodegradáció hatásfokának növelését. A különböző növényvédő szerek koncentrációinak ellenőrzésére, de főként az oxidációs melléktermékek meghatározása érdekében további célul tűztük ki szilárd fázisú extrakció (SPE) minta-előkészítési eljárás alkalmazását, illesztését a folyadékkromatográfiás eljáráshoz.

A kutatás környezetvédelmi szempontból kiemelt jelentőségű, mert a fejlesztés eredményeként létrejövő eljárások tapasztalatai hatékonyan segíthetik a kármentesítésben tervezett módszertan és berendezések lehatárolását, lehetővé téve így az akár több 10 méteres mélységig elszennyezett területek megtisztítását, mely várhatóan hozzájárul ezen területek remediációjához.

5. AZ ALKALMAZOTT ANALITIKAI ÉS TECHNOLÓGIAI VIZSGÁLATOK JELLEMZÉSE

A peszticidek meghatározása során felmerülő érzékenységi, szelektivitási és detektálási problémák áthidalásának legígéretesebb megoldását egy tömegspektrometriás (MS) detektáláson alapuló folyadékkromatográfiás (HPLC) módszer kidolgozásában láttuk. A peszticidek oxidatív degradációja során keletkező melléktermékek azonosítását mérés technikájának kidolgozását UHPLC-(UV-VIS)-ESI-MS mérőrendszeren tervezzük kivitelezni, melynek leírását a következőkben röviden ismertetjük.



1. ábra. Az ESI ionforrásban elhelyezkedő porlasztótű

A komponensek elválasztása és UV-VIS detektálása egy Agilent gyártmányú 1260 Infinity I UHPLC rendszeren történik, majd a kolonnát elhagyó folyadékáramot egy kapilláriscsövön keresztül egy Agilent 6100 Quadrupole LC/MS Systems single kvadrupol rendszerű tömegspektrométerbe vezetjük. Ionforrásként pneumatikus ESI (Electrospray Ionization) ionforrást alkalmazunk (1. ábra). A porlasztás nitrogén gáz felhasználásával történik, majd az adatok kiértékelését Agilent ChemStation szoftver segítségével végezzük el.

6. TAPASZTALATOK

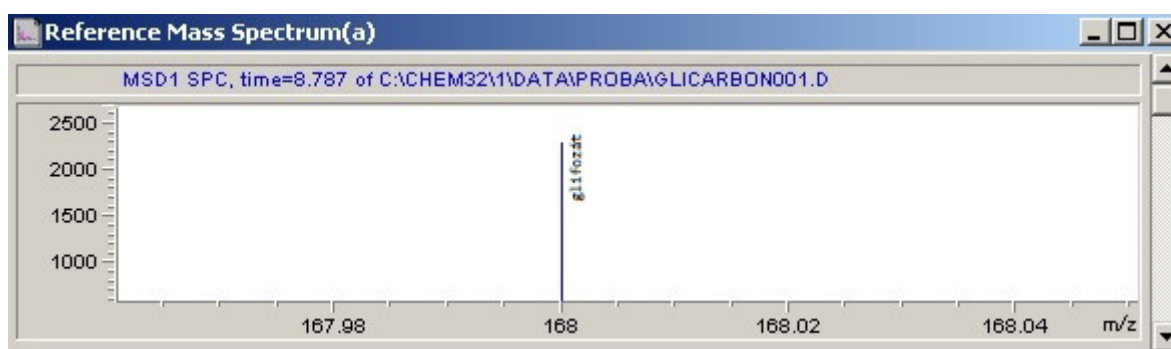
A peszticidek közül első körben a glifozát meghatározására esett a választásunk, mivel származékaival együtt közvetlenül is bemosódhat csatornába és felszíni vizekbe, melyet már több felszíni vízfolyásokat vizsgáló tanulmányban is kimutatták Kanadában, az Egyesült Államokban és Dániában. Mivel gyomirtóként használják, a glifozát jelen van a talajokban, élelmiszerekben, elszivárgásának komoly következményei lehetnek az ivóvíz minőségére, illetve a többi vizes élőhelyre is [6]. A szennyezett környezeti minták vizsgálata előtt fontosnak tartottuk, hogy megismerkedjünk a glifozát tömegspektrometriás detektálásának részleteivel, illetve megtaláljuk azt a megfelelő kolonnát és mozgófázis összetételt, mellyel első körben az általunk készített szennyezett mintákból a glifozát kromatografálása lehetővé válik.

6.1. A glifozát tömegtartománya

A tömegspektrometria a molekulák (atomok) ionizációján, majd a képződött ionok relatív tömegének meghatározásán alapuló, nagy hatékonyságú szerkezetvizsgáló és analitikai módszer. A tömegspektrométerben képződött ionokat a tömegük (m) és töltésük (z) töltés/tömeg (m/z) hányadosával jellemezhetjük [7].

A tömegspektrometriás detektálás egyik adatgyűjtési módszere a szelektív ion monitoring (SIM) üzemmód, melyhez ismernünk kell a mérni kívánt molekulák ez esetben a glifozát retenciós idejét és jellemző fragmenseit, ehhez pedig ún. SCAN felvétel készítésére volt szükségünk. A pásztázó (SCAN) módban a glifozát tömegtartományát vizsgáltuk, mely során a mérés folytonos pásztázással történt, a teljes tömegspektrumok rögzítésével. Ekkor a kvadrupól által átengedett glifozát ion m/z -je egy intervallumot pásztázott végig újra és újra.

A SCAN felvétel létrehozásához standardoldatot kellett készítenünk, mely egy meglévő hozzávetőlegesen 42%-os glifozát oldatból történt. Analitikai mérleg segítségével 0,0837 g mennyiséget mértünk egy 100 ml-es mérőlombikba, amit ioncserélt vízzel jelig töltöttük. A méréshez az előbb elkészített 351,54 $\mu\text{g/l}$ -es standard glifozát oldatból 1 ml mennyiséget használtuk fel.



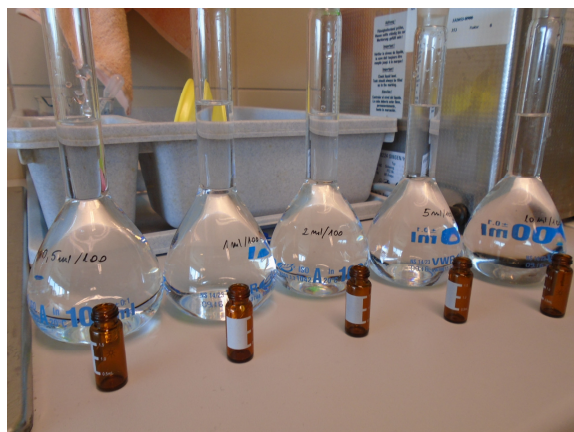
2. ábra. A glifozát m/z értékének megadása SCAN felvétel segítségével

Mozgófázisnak metanolt és 0,1%-os hangyasav + vizet használtunk 0,4 mL/min áramlási sebesség mellett állófázis nélkül. A nagynyomású szivattyú az elválasztás ideje alatt állandó mozgófázis összetételt biztosított, ezáltal az elválasztás izokratikus volt [6]. A detektor az analizátor által szűrt glifozát részecskét ion-elektron sokszorozóként elektromos jellé alakította (egy beütés), majd a 168-as tömegszámnál mért beütésszám mutatja a glifozát tömegspektrumát (2. ábra).

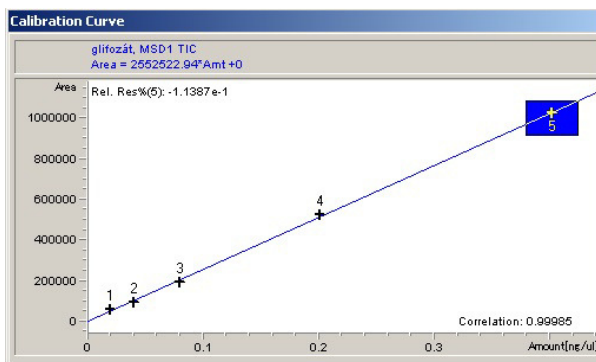
Az ionizáció, tömeganalizálás és detektálás időigénye több nagyságrenddel kisebb volt, mint a kromatográfiás csúcs elúciója, ezért egy csúcs elúciós ideje alatt is többször végigpásztázhattuk az általunk választott glifozát tömegtartományát.

6.2. Kalibráló oldatsor készítése

A többpontos kalibrációhoz a fentebb említett 351,54 µg/ml-es standard glifozát oldatot használtuk, amiből 5 db 100 ml-es mérőlombikba különböző mennyiségeket (0,5 ml; 1 ml; 2 ml; 5 ml és 10 ml) pipettáztunk, majd HPLC tisztaságú vízzel hígítottuk őket. Ezután az eltérő koncentrációjú standard oldatokból 1 ml mennyiséget fiolákban helyeztünk el (3. ábra), mellyel egy 5 pontos analitikai mérőgörbét készítettünk (4. ábra). A kalibrációt a leghígabb oldattal kezdtük és haladtunk az egyre töményebbek felé, hogy a minták közötti esetleges keresztszennyeződés hatását minimalizáljuk. A keresztszennyeződés akkor következhet be, ha a mintavevő tűből és a vezetékből nem sikerült teljesen kimosni az előző oldatot. Még teljesen automata rendszereknél is számolni kell a keresztszennyezéssel, ezért két mérés között minél többször ki kell mosatni a tűt [8]. Az általunk készített standardoldatokra kapott értékek egy egyenesre illeszkedtek, ami egy ideális esetnek mondható, viszont fontos megemlíteni, hogy ezek az értékek egy kicsit mindig szórnak.



3. ábra. Standardoldatok készítése glifozát oldatból



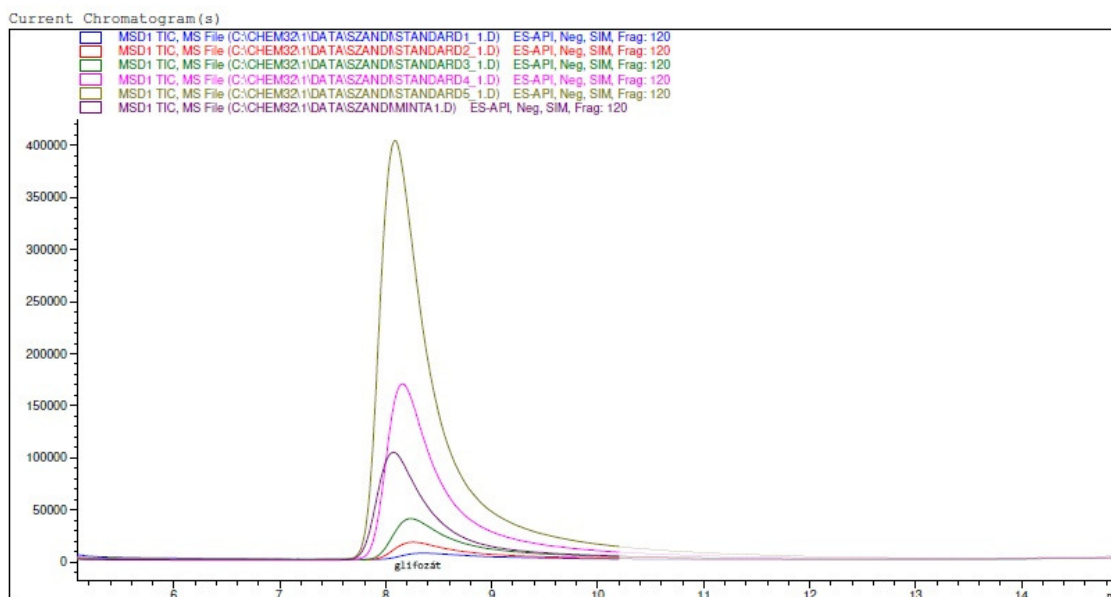
4. ábra. 5 pontos analitikai mérőgörbe

A 4. ábrán látható analitikai mérőgörbe linearitásán azt értjük, hogy a görbe adott tartományában, az ún. lineáris tartományban, adott megbízhatósággal egyenesnek tekinthető. A linearitást a méréstartományt lefedő koncentrációjú minták elemzésével határoztuk meg. Az eredményekből a legkisebb négyzetek módszerével a szoftver kiszámította a regressziós egyenest a komponens koncentrációja függvényében.

Mivel a mérések során UV detektálást is alkalmazunk, fontos volt megállapítani, hogy a detektor által szolgáltatott jel egyenesen arányos-e a vizsgálandó oldat koncentrációjával. A kalibrációs eljárashoz elméletileg egyetlen ismert koncentrációjú standard mérése elegendő lenne, és a kapott abszorbananciát a koncentrációval osztva az egyenes meredekségét is megkaphatnánk (Lambert-Beer törvény), azonban a valóságban számos, a készülékhez vagy a mintához kapcsolódó paraméter e törvénytől való eltérést eredményez [9].

A komponensek kromatográfiás elválasztásának kidolgozását egy 100 mm hosszúságú, 4,6 mm átmérőjű és 5 µm szemcseméretű HYPERCARB állófázison (Thermo Scientific) végeztük.

Mozgófázisnak metanolt és 0,1%-os hangyasav + vizet használtunk 0,4 mL/min áramlási sebesség mellett, az eluensek erősségét pedig időben fokozatosan növeltük, ezáltal az elválasztás biner graduens elúcióval történt.



5. ábra. A standardoldatok és az ismeretlen minta retenciós ideje és MS spektrumjai

A standardoldatok mellé továbbá egy ismeretlen mintát is készítettünk, ezzel egy teljes szekvencia sort felállítva közvetlenül a tömegspektrométerbe injektálva és a detektor különböző paramétereinek változtatásával megadtuk a vizsgálandó vegyület MS spektrumát és m/z értékeket. A standard oldatok felhasználásával a beállított HPLC-MS módszer segítségével meghatározzuk a glifozát retenciós idejét. Az HPLC-MS vizsgálati eredményekből elvégeztük a minőségi azonosítást, a retenciós idők és az azokhoz tartozó MS spektrumok segítségével (5. ábra).

6.3. Szennyezett környezeti minták SPE mintaelőkészítése

Célkitűzésünk elsősorban, hogy különböző peszticid hatóanyagok mérésére fejlesszünk egy olyan UHPLC-MS módszert, amellyel az időigényes, szilárd fázisú extrakciós mintaelőkészítés automatizálható, a minta pedig dúsítható, mely segíti az alacsonyabb kimutatási határok elérését szennyezett környezeti mintákból.

A módszerfejlesztés során oxidatív módszereket is szeretnénk alkalmazni, hogy a kiválasztott peszticid hatóanyagok oxidatív lebontási lehetőségeit és ezen reakciók körülményeit optimalizáljuk. Fontos, hogy a módszer megfelelő teljesítmény-jellemzőkkel és kimutatási határértékekkel rendelkezzen, illetve a költséghatékonysága is figyelemre méltó legyen, mivel mind az idő-, mind az eszköz- és vegyszerköltség is csökkenthető lehet általa. A kezelések eredményei pedig várhatóan segíthetik az esetleges kármentesítésben következő lépésként tervezett biodegradáció hatásfokának növelését.

A mintaelőkészítés a mérés egy igen kritikus pontja. A mintatisztításra szilárd fázisú extrakciót (SPE) tervezünk alkalmazni, amely során egy szorbensrétegen engednénk át az adott térfogatú extraktumot. A szorbens megköti a számunkra értékes komponenseket, a zavaró mátrixot viszont nem, ezért az oldószeres lemosáskor már nem lesz az oszlopon és nem kerül bele az eluátumba [10].

6.4. Összefoglalás, további tervek

Az eddigi tapasztalatok alapján elmondhatjuk, hogy a módszerfejlesztés várhatóan jól használható a tervezett szennyezők azonosítására, valamint az előzetesen kitűzött technológiai célok támogatására. Ezek a tapasztalatok hatékonyan segíthetik az elszennyezett területek megtisztítását, hozzájárulva ezáltal a területek remediációjához.

Az eddigi mérések során azt tapasztaltuk, hogy a 6.2. alfejezetben említett állófázis és mozgófázis összetétel mellett 1 ppm mennyiségben tudtunk detektálni glifozátot. Célunk, hogy a glifozát kromatografálását érzékenyebbé tegyük (1 ppb). Ehhez azonban nagy valószínűséggel az optimális állófázis/eluens-összetétel meghatározásával sem jutunk el ezzel a készülékkel a szennyező dúsítása nélkül. Ezért olyan minta-előkészítési módszert is ki kell dolgozni, amely a glifozát-tartalomnak nem csak a kinyerését, de annak dúsítását is lehetővé teszi. Szerencsére számos, extrakciót követő SPE clean-up módszer látszik erre a feladatra alkalmasnak, amelyek közül törekszünk kiválasztani és beállítani a mérőrendszerünkhöz leginkább illeszthetőt.

A távlati terveink között szerepel továbbá, hogy általunk készített peszticid hatóanyagokkal szennyezett környezeti mintákból modelloldatokat készítsünk, és ezek segítségével határozzuk meg többek között az oxidatív kezelések során keletkező bomlástermékeket.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PÁSZTÓ, P.:** *Vízminőség-védelem, vízminőség-szabályozás*, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1998
- [2] **THYLL, SZ.:** *Vízszennyezés, vízminőségvédelem*, Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, 1998
- [3] **MAJZIK, E.:** *Növényvédőszer hatóanyagok koncentrációjának meghatározása különböző SPE módszerek alkalmazásával felszín alatti és felszíni vízmintákból*, Ph.D. értekezés, Pannon Egyetem, 2006., p. 1., Doktori témavezető: Dr. Szakácsné Dr. Földényi Rita
- [4] **DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT:** *Pflanzenschutzmittel im Trinkwasser Mitteilung XVI der Kommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratschutzmittel*, Verlag Chemie Weinheim, 1990
- [5] <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk4/4-07.htm>
- [6] **TAMÁS, J.:** *Talajremediáció*, Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen, 2002
- [7] **DINYA, Z.,** *Szerves tömegspektrometria*, DE Kossuth Egyetemi Kiadó, 2001
- [8] **LÁZÁR, I.:** *Nagynyomású folyadékkromatográfia*, Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, Debrecen, 2009
- [9] **GÁSPÁR, A.:** *Elválasztási módszerek validálása, Oktatási segédanyag műszeres analitika gyakorlathoz*, Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, Debrecen
- [10] **SUSÁN, J.:** *Módszerfejlesztés antibiotikumok meghatározására tejmintákból on-line szilárd fázisú extrakciós UHPLC-MS/MS módszerrel előadás anyag*, Élelmiszer Toxikológiai Nemzeti Referencia Laboratórium, 2015

SORBANÁLLÁSI MODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE, ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI

COMPARISON ANALYSIS, APPLICATION POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF QUEUEING MODELS

TUMIK Ábel¹, MOLNÁR Viktor²

¹óráadó oktató, szvabelt@uni-miskolc.hu

¹Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

²egyetemi docens, szvmv@uni-miskolc.hu

²Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: Az egyszerű sorbanállási modellek számos gyártási és szolgáltatás-nyújtási folyamatban jól alkalmazhatók, azonban megkötésekkel, mert a folyamatok modellezése több korlátozó feltételt hordoz. A modellek valós környezethez történő illesztése általában fokozza a modellek bonyolultságát és sokszor azt tapasztaljuk, hogy ezért az ipari alkalmazás nem fenntartható hosszú távon. A cikk szakirodalmi eredmények és esettanulmányok felhasználásával bemutatja és összeveti a sorbanállási modellek legfontosabb alkalmazási területeit és rávilágít az alkalmazási korlátaikra. Az összefoglaló jellegű munka célja rámutatni arra, hogy egzakt megoldások is beépíthetők a bonyolult gyártási és szolgáltatási folyamatmodellekbe abból a célból, hogy pontosabb képet kapjunk ezeknek a folyamatoknak a megfelelőségéről.

Kulcsszavak: sorbanállás-elmélet; folyamat-veszteség; várakozási idő

Abstract: Simple queueing models can be well-applied in several manufacturing and service processes; however the modelling of processes has some limitations. Fitting the models to real-life operations increases the complexity of models, therefore, according to our experience long-term sustainability of these applications is not ensured. The most important applications of queueing models are introduced and compared in the paper on the basis of literature review and case studies. The paper also summarises the application limits of the models. The aim of the work is to emphasize that exact solutions can also be built in complicated manufacturing and service process models in order to get a more comprehensive set of information about the effectiveness of processes.

Keywords: queueing theory; process waste; waiting time

1. BEVEZETÉS

A veszteségek általános típusait, és az általuk indukált költségeket nehezen lehet a gyakorlatban vizsgálni, hiszen nem csak a hiba vagy selejt tekinthető veszteségnek, hanem több olyan tevékenység vagy folyamatszakasz is, mely nem teremt értéket a vevő számára. Egy széles körben vizsgált veszteségtípus a termékek várakozása. Várakozásról akkor beszélünk, ha a terméket raktározzák, vagy a feldolgozás egy következő fázisára vár, miután az előzőben elkészült. A raktározási költségeken felül további alternatív költségek is előfordulhatnak. Ha például semmilyen fizikai transzformáció (gépi megmunkálás, festés, csomagolás stb.) nem történik a termékkel a megadott átfutási időn belül, a várakozási időt értékteremtő idővé lehetne alakítani alapos gyártástervezés segítségével. Meg kell jegyezni, hogy alaposabb tervezéshez több munkaidő szükséges, ami hasonló módon egy többletköltség, mely a vizsgált termékhez kötődik [1]. Ezt a megközelítést alkalmazza a lean szemlélet is. Annak ellenére, hogy a lean alkalmazási hatékonysága nem teljesen igazolódott Magyarországon napjainkig, ez a megközelítés több ipari ágazatban kezd feltűnni a gépjárműgyártástól az egészségügyig. Molnár és Kerchner egy részletes vizsgálatot közölt az alkalmazási területekről, illetve a lean szemlélet és eszköztár felfutásáról [2]. A lean

megoldások alkalmazásának gondolata egyre intenzívebb a közszolgáltató vállalatoknál is napjainkban. Nem csak a bonyolult folyamatok, hanem a külső és a vállalaton belüli egyéb befolyásoló tényezők is növelhetik a hibák számát.

Egy másik megközelítés, mely a lean megoldásokkal elkezdett összeolvadni, a körülbelül harmincéves six sigma menedzsment rendszer, melynek fő fókusza a hibaarány csökkentése strukturált folyamatmenedzsment megoldásokkal. Habár mind a lean, mind a six sigma rendszer precíz költségkalkulációkat használ a folyamatok eredményességének mérésére vagy ezek tökéletesítésére, bizonyos kapcsolódó területeken igény alakult ki a pontosabb kalkulációk szükségességére. A kalkulációt támogathatja a sorbanállási elmélet, melyben az előrelátható várakozási idő értéke valószínűségi modellek alapján kerül megállapításra.

A várakozási típusú veszteség esetén az a probléma, hogy a várakozást több esetben is csak valószínűségi változók segítségével modellezhetjük, illetve az a tény is gondot okoz, hogy a gyártó vállalatok, szolgáltatók vagy közszolgáltatók többféle terméket gyártanak, vagy többféle szolgáltatást ajánlanak. Ez azt jelenti, hogy ezekben az esetekben a költségek számítása is igen összetett. A tevékenység alapú kalkuláció egy megoldás lehet a precíz egységköltség-számításra, mert egyszerűen beépíthetjük a tételeket a kalkulációba, és ezáltal pontos információt kaphatunk a folyamatok hatékonyságáról [3].

A megfelelő tervezés hiánya egy jelentős probléma az iparban és a szolgáltatások terén is. Ebből kifolyólag többféle, a várakozási időt csökkentő vagy megszüntető megközelítést dolgoztak ki az utóbbi évtizedekben. A lean menedzsment, melynek fő célja a veszteségek folyamatos csökkentése, egyre nagyobb teret nyert az utóbbi húsz évben. Nem csupán a detektálható hibák (pl. selejt) tekinthetők veszteségnek, hanem a folyamatok több, egyébként rejtett részeit is tekinthetjük annak. Ha egy termék bizonyos sorozata elkészül az összeszerelő üzemben, anyagmozgatási fázis követi, melynek során tárolásra kerül, amíg ki nem szállítják. Ha nem található megfelelő számú személyzet a raktárban, azaz csak kevesebben tudnak ilyen tevékenységgel foglalkozni, akkor torlódás figyelhető meg. A sorbanállási modellek nem csak arra használhatók, hogy raktározásra vonatkozóan jellemezzünk vagy szimuláljunk előállítási vagy kiszolgálási folyamatokat, hanem sok egyéb helyen, ahol folyamatokkal találkozunk.

2. A SORBANÁLLÁSI MODELLEKRŐL ÁLTALÁNOSAN

A sorbanállási modelleknek széles szakirodalmi háttere van. Kerbache és Smith az ellátási láncot a várakozások hálózataként írta le, és torlódási problémákat vizsgált [4]. Az ellátási lánc vizsgálatának egy másik megközelítése a teljesítménytényezők számszerű magyarázata [5]. Hasonló nehézségű probléma a rugalmas gyártórendszerek vizsgálata [6]. Nuyens és szerzőtársai a rugalmas gyártórendszerek mechanizmusait dinamikus sorbanállási problémaként definiálta [7]. A sorbanállási modellt gyakran szerelősorok modellezésére használják [8], vagy valós alkalmazási területekhez kapcsolják. Zhuang és szerzőtársai egy komplex, több erőforrást és folyamatot magában foglaló összeszerelő rendszer modellezését és szimulációját hajtották végre [9]. Fontos kutatási terület a különböző típusú termelési rendszerek összehangolásának módja [10] vagy a kiszolgáló berendezések leállításának a modellezése [11]. Egy ilyen tipikus alkalmazási területe a sorbanállási modellnek a termelésben az a helyzet, amikor a várakozás egy valószínűségi változó, ami leírja azt a periódust, ami addig a pontig tart, amíg egy bizonyos mennyiségű termék felhalmozódik [12]. Lynes és Miltenburg a készlet, átbocsátóképeség és ciklusidő kapcsolatát vizsgálta nyitott várakozási hálózat modellezésével [13]. Kochel egy többhelyszínes készletezési problémát modellezett le [14]. Más hasznos készletezési modelleket találhatunk Boxma és Perry [15], valamint Chang és Lu [16] kutatásaiban. Szolgáltatások tekintetében Creemers és Lambrecht előre megbeszélte időpont alapú szolgáltatási modellt hozott létre [17].

1. táblázat. Átlagos sorbanállási idők [13]

Sorbanállási rendszerek	Átlagos sorbanállási idő a rendszerben (W)
D/D/1/GD/∞/∞	$W = \frac{1}{\mu}$
M/D/1/GD/∞/∞	$W = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu}$
M/M/1/GD/∞/∞	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$
M/M/1/GD/c/∞	$W = \frac{L}{\lambda(1 - \pi_c)}; L = \frac{\rho[1 - (c + 1)\rho^c + c\rho^{c+1}]}{(1 - \rho^{c+1})(1 - \rho)};$ $\pi_c = \rho^c \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{c+1}}; \rho = \frac{\lambda}{\mu}$
M/M/s/GD/∞/∞	$W = \frac{L}{\lambda}; L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}; L_q = \frac{P(j \geq s)\rho}{1 - \rho}; P(j \geq s) = \frac{(s\rho)^3\pi_0}{s!(1 - \rho)};$ $\rho = \frac{\lambda}{s\mu}; \pi_0 = \left[\sum_{i=0}^{s-1} \frac{(s\rho)^i}{i!} + \frac{(s\rho)^3}{s!(1 - \rho)} \right]^{-1}$
M/G/1/GD/∞/∞	$W = \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{\rho}{1 - \rho} \left(\frac{1 + \frac{\sigma_s^2}{\bar{x}_s^2}}{2} \right) \right]$
M/G/s/GD/∞/∞	$W = \frac{p_0 s \rho^3}{s!(s - \rho)} \cdot \frac{\sigma_s^2 + \bar{x}_s^2}{2\bar{x}_s(s - \rho)}; \rho = \frac{\lambda}{s\mu}; p_0 = \sum_{j=0}^{s-1} \frac{p^j}{j!} + \frac{s\rho^3}{s!(s - \rho)}$
G/G/1/GD/∞/∞	$W = \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{\rho}{1 - \rho} \left(\frac{\frac{\sigma_A^2}{\bar{x}_A^2} + \frac{\sigma_s^2}{\bar{x}_s^2}}{2} \right) \right]$
G/G/s/GD/∞/∞	$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda(s\sigma_A^2 + \sigma_s^2)}{2s(1 - \rho)} \cdot \frac{(\rho^2\sigma_A^2 + \sigma_s^2)}{\sigma_A^2 + \sigma_s^2}; \rho = \frac{\lambda}{s\mu}$
M/D _r /1/GD/∞/∞	$W = \frac{r}{\lambda} + r\mu$

A különböző sorbanállási modellek több paraméter figyelembevételével különíthetők el egymástól, például az alkatrészek vagy ügyfelek beérkezésének jellege, a kiszolgálási idő jellege vagy a kiszolgáló berendezések vagy a szolgáltatást nyújtó alkalmazottak száma. Az 1. táblázat néhány főbb modell kapcsán foglalja össze a sorbanállás során várható átlagos várakozási időket.

Az 1. táblázatban szereplő jelölések:

- μ : átlagos kiszolgálási idő egy kiszolgálóval (rendelés/min)
- λ : átlagos beérkezési ráta (rendelés/min)
- σ_s^2 : a kiszolgálási idő eloszlásának varianciája ([min/rendelés]²)

- σ_A^2 : a beérkezési idő eloszlásának varianciája ([min/rendelés]²)
- \bar{x}_S : a kiszolgálási idő eloszlásának átlaga (min/rendelés)
- \bar{x}_A : a beérkezési idő eloszlásának átlaga (min/rendelés)

Mindegyik sorbanállási rendszer hat jellemzővel írható le: 1/2/3/4/5/6, ahol:

- 1: A beérkezések jellege (M – exponenciális; D – determinisztikus; Ek – Erlang; G – határozatlan).
- 2: A kiszolgálási idő jellege
- 3: A kiszolgálók száma
- 4: Sorbanállási rend (FCFS, LCFS, SIRO – véletlenszerű kiszolgálás; GD – meghatározatlan).
- 5: A rendszerben megengedett maximális igény mennyisége.
- 6: Az igények forrásául szolgáló sokaság nagysága

3. ALKALMAZÁSI KORLÁTOK ÉS LEHETŐSÉGEK

Yamada és szerzőtársainak a tanulmánya [18] egy több állomásos anyagszortírozó és szétszerelő üzem rendszerének paramétereit – a rendszerbe érkezés gyakorisága, kiszolgálási ráta, a szétszerelő állomások száma, valamint ezek puffer készleteinek szintje – vizsgálja [19] sorbanállási modelljének felhasználásával. A gyakorlati vizsgálat során a modell alkalmazásának a feltételei a következők: a rendszer állandó, egyik állomáson sincs leállás, a termékek utazási ideje nulla, a kiszolgálás FCFS (First Customer First Service – a korábban beérkező ügyfél korábban kerül sorra) elven történik az állomásokon. A kutatás során vizsgálat alá kerülnek a rendszerben található szétszerelő és szortírozó állomások. Egy másik kutatás egy olyan sorbanállási-készletezési rendszert vizsgál, mely két kategóriájú vevő kiszolgálásával foglalkozik, melyek beérkezése Poisson eloszlást mutat.

Az egyik legfontosabb probléma a sorbanállási-készletezési rendszerben, hogy milyen módon történik a vevő kiszolgálásának prioritása. Amennyiben két külön kategóriájú vevő várakozik, a rendszernek el kell döntenie, melyiket szolgálja ki előbb [20]. Egy speciális modell egy egyállomásos gyártási rendszer működését írja le, melyben standardizált termékeket állítanak elő és emellett egyedi termékeket is speciális vevői igény esetén. A modell alkalmazásainak feltétele, hogy a termékeket váltakoztatva lehessen előállítani, olyan módon, hogy az egyedi gyártású termék a standardizált termék személyre szabott variánsa. Az ezekre beérkező igény Poisson eloszlást kell, hogy mutasson [16]. Zhuang és szerzőtársainak kutatása egy komplex összeszerelő rendszert vizsgál, melynek megújítására analitikus és szimulációs sorbanállási modellt is alkalmaznak. A modell használata után a rendszer magasabb átbocsátóképességre tett szert, lecsökkentek a szerelési folyamatok ciklusidői, valamint kevesebb folyamatközi készlet halmozódott fel [9].

Többlökációs készletezés problémáinak vizsgálatára és megoldására például a sorbanállási hálózatok modelljét használhatjuk [14]. Egy cikk a tömeges beérkezési sorbanállási modell vizsgálatát mutatja be a Zadeh-féle „fuzzy” elmélet felhasználásával, egy olyan sorbanállási rendszerben, ahol egy kiszolgáló egységhez a Poisson-folyamat alapján egy tételben érkeznek a vevők, a kiszolgálási idők függetlenek, és exponenciális eloszlásúak. A tömeges beérkezési sorbanállási modelleknek széles skálájú felhasználása lehetséges a műveleti és kiszolgáló mechanizmusok terén a rendszer teljesítményértékelése során [21].

Egy kutatás az ellátási láncok végső termékraktárait készletezési szempontból vizsgálja. Ezeknek a raktáraknak fontos a szerepe, amit főleg a való világban előforduló bizonytalan vevői igények indukálnak. Kétféle igény klasszifikációt határoz meg a cikk: az egyik kategória a belföldi piac, vagyis az elosztó vállalatok, a másik a nemzetközi piac, ami prioritást élvez. Az igények (mind a bel- és külföldiek) Poisson folyamat alapján érkeznek,

különböző független értékekkel [22].

A 2. táblázat összefoglalja néhány gyakori sorbanállási modelltípus alkalmazási területeit, illetve a hivatkozott alkalmazásban történő modellezés korlátait.

2. táblázat: Alkalmazások és korlátok (saját szerkesztés a megjelölt források alapján)

Típus	Alkalmazás	Korlátfeltételek
M/M/1/GD/ ∞/∞	Várakozási költségek kalkulációja [23] [24] Ciklusidő elemzés – mikorelektronikai gyártás [13]	Vevők függetlenül érkeznek egymástól Akkor érkezik be egy vevő, ha a várható nettó hozama pozitív (várakozás költségét figyelembe véve)
M ₁ ,M ₂ /M ₁ ,M ₂ /1/GD/ ∞/∞	Különböző vevő-kategóriák [20]	A kiszolgálási prioritás modellen kívüli változó
G/M/1/FCFS/ ∞/∞	Nagyméretű raktárak modellezése [25]	Véges kapacitású rendszer Egyszerű markovi kiszolgálás
M/M/s/FCFS/ ∞/∞	ellátási hálózat topológiák teljesítménymutatóinak elemzése [4]	Ellátási hálózat modellként való kezelése – azonos kiszolgálók feltételezése
M/M/S/GD/ ∞/∞	Többlakációs készletezés [14]	Szállítási kapacitást nem veszi figyelembe Nem tesz javaslatot az optimális allokációra.
G/G/1/N/ ∞/∞	Komplex szerelősorok elemzése [8]	Gyártórendszerekre, szétszerelő sorokra, illetve hurkokat tartalmazó struktúrákra nem tesztelt-

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A sorbanállási modellek alkalmazása ugyan széles területet ölel fel a gépipari gyártástól a kórházi kiszolgálásig, azonban a gyakorlati alkalmazások esetén is számos olyan feltétellel találkozunk, amelyek a komplex folyamatokat valamilyen formában és/vagy mértékben leegyszerűsítik. Ennek a kiküszöbölésére kidolgoztak olyan komplex modelleket, illetve szimulációs eljárásokat, amelyek nem feltétlenül sorolhatók be az egyszerű modellek kategóriába.

Érdemes a komplex termelési és szolgáltatás-nyújtási rendszereket és folyamatokat – ha lehetséges – elemi fázisokra bontani annak érdekében, hogy az egyszerű modellek is alkalmazhatóak legyenek, és emellett fontos a különböző sorbanállási modellek és egyéb megoldások nagyfokú ismerete ahhoz, hogy a gyakorlatban is egyszerűen és megfelelő pontossággal alkalmazható modelleket kapjunk.

A 21. század autóipari gyakorlatában például a tömeggyártásból adódóan az egy alkatrészre jutó elhanyagolható mértékű önköltség-csökkentés is jelentős profitnövekedést okoz éves viszonylatban. Ezért a gyártási és kiszolgálási folyamatokban fellelhető minimális veszteségek, illetve fejlesztési lehetőségek is számottevő eredménynövekedést okozhatnak.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MOLNÁR, V., TUMIK, Á.:** *Várakozási veszteségből adódó költségek Lean Six Sigma megközelítésben: egy ABC-alapú döntési modell*, Controller Info 5 (2017) pp.35–40.
- [2] **MOLNÁR, V., KERCHNER, A.:** *A lean menedzsment alkalmazási lehetőségei a közsférában*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2016. konferencia, (2016) pp.425–432.
- [3] **MUSINSZKI, Z.:** *Költségallokációs problémák és megoldások*, Controller Info 3 (2015) pp.2–10.
- [4] **KERBACHE, L., SMITH, J.M.:** *Queueing Networks and the Topological Design of Supply Chain Systems*, International Journal of Production Economics 91 (2004) pp.251–272.
- [5] **ZHOU, W., HUANG, W., ZHANG, R.:** *A Two-Stage Queueing Network on Form Postponement Supply Chain with Correlated Demands*, Applied Mathematical Modelling 38 (2014) pp.2734–2743.
- [6] **JAIN, M., MAHESHWARI, S., BAGHEL, K.P.S.:** *Queueing Network Modelling of Flexible Manufacturing System Using Mean Value Analysis*, Applied Mathematical Modelling 32 (2008) pp.700–711.
- [7] **NUYENS, R.P.A., VAN DIJK, N.M., VAN WASSENHOVE, L.N., YIICESAN, E.:** *An Experimental Analysis of Steady State Convergence in Simple Queueing Systems: Implications for Flexible Manufacturing System Models*, Simulation Practice and Theory 4 (1996) pp.1–29.
- [8] **MANITZ, M.:** *Queueing-Model Based Analysis of Assembly Lines with Finite Buffers and General Service Times*, Computers & Operations Research 35 (2008) pp.2520–2536.
- [9] **ZHUANG, L., WONG, Y.S., FUH, J.Y.H., YEE, C.Y.:** *On the Role of a Queueing Network Model in the Design of a Complex Assembly System*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 14 (1998) pp.153–161.
- [10] **SCHIPPER, M.A., CHANKOV, S.M., BENDUL, J.:** *Synchronization Emergence and its Effect on Performance in Queueing Systems*, Procedia CIRP 52 (2016) pp.90–95.
- [11] **GRAY, W.J., WANG, P.P., SCOTT, M.:** *A Vacation Queueing Model with Service Breakdowns*, Applied Mathematical Modelling 24 (2000) pp.391–400.
- [12] **GRAY, W.J., SCOTT, M.:** *A Queueing Model with Bonus Service for Certain Customers*, Applied Mathematical Modelling 10 (1986) pp.241–245.
- [13] **LYNES, K., MILTENBURG, J.:** *The Application of an Open Queueing Network to the Analysis of Cycle Time, Variability, Throughput, Inventory and Cost in the Batch Production System of a Microelectronics Manufacturer*, International Journal of Production Economics 37 (1994) pp.189–203.
- [14] **KOCHEL, P.:** *On Queueing Models for some Multi-Location Problems*, International Journal of Production Economics 45 (1996) pp.429–433.
- [15] **BOXMA, O.J., PERRY, D.:** *A Queueing Model with Dependence between Service and Interarrival Times*, European Journal of Operational Research 128 (2001) pp.611–624.
- [16] **CHANG, K-H., LU, Y-S.:** *Queueing Analysis on a Single-Station Make-to-Stock/Make-to-Order Inventory-Production System*, Applied Mathematical Modelling 34 (2010) pp.978–991.
- [17] **CREEMERS, S., LAMBRECHT, M.:** *An Advanced Queueing Model to Analyze Appointment-Driven Service Systems*, Computers & Operations Research 36 (2009) pp.2773–2785.
- [18] **YAMADA, T, HARIADI, R.A.R., TSUCHIYA, S.:** *Queueing Modeling of Material Sorting Disassembly System with Overflows*, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, International Federation of Automatic Control, Oroszország (2013) pp.395–400.
- [19] **YAMADA, T., MIZUHARA, N., YAMAMOTO, H. AND MATSUI, M.:** *A Performance Evaluation of Disassembly Systems with Reverse Blocking*, Computers & Industrial Engineering, 56 (2009) pp.1113–1125.
- [20] **ZHAO, N., LIAN, Z.:** *A Queueing-Inventory System with Two Classes of Customers*, International Journal of Production Economics 129 (2011) pp.225–231.

- [21] **CHEN, S-P.:** *A Bulk Arrival Queueing Model with Fuzzy Parameters and Varying Batch Sizes*, Applied Mathematical Modelling 30 (2006) pp.920–929.
- [22] **MODARRES, T., E.M., GHASEMZADEH, F., FATHI, M.:** *A Queueing Approach to Production-Inventory Planning for Supply Chain with Uncertain Demands: Case study of PAKSHOO Chemicals Company*, Journal of Manufacturing Systems 29 (2010) pp.55–62.
- [23] **LARSEN, C.:** *Investigating Sensitivity and the Impact of Information on Pricing Decisions in an M/M/1/∞ Queueing Model*, International Journal of Production Economics 56-57 (1998) pp.365–377.
- [24] **ZHANG Y., WANG, J., WANG, F.:** *Equilibrium Pricing Strategies in Retrial Queueing Systems with Complementary Services*, Applied Mathematical Modelling 40 (2016) pp.5775–5792.
- [25] **POURBABAI, B.:** *Optimal Selection of Buffers in a Tandem Finite Capacity G/M/1 Queueing System*, Automatica 25 (1989) pp.897–906.

REKULTIVÁLT HULLADÉKLERAKÓ BELSŐ SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA GEOELEKTROMOS MÓDSZEREKKEL

EXAMINATION OF THE INNER STRUCTURE OF RECULTIVATED WASTE SITE USING GEOELECTRIC METHODS

TURAI Endre¹, SZILVÁSI Marcell², NÁDASI Endre³, ABORDÁN Armand⁴

¹CSc, Dr. habil., intézetigazgató egyetemi docens, gfturai@gold.uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

²tanársegéd, gbmszm@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

³tanársegéd, tudományos segédmunkatárs, gfne@uni-miskolc.hu,

³Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

³Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

⁴PhD. hallgató, gfaa@uni-miskolc.hu

⁴Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

Kivonat: A vizsgált rekultivált kommunális hulladéklerakó belső szerkezetének megállapításához fajlagos ellenállás és indukált polarizációs (IP), valamint mágneses felszíni geofizikai módszereket alkalmaztunk. A fajlagos ellenállás mérésekkel a hulladéktest fekélyét, az IP mérésekkel pedig a szennyezettség fekélyét határoztuk meg. Mérések megmutatták, hogy a hulladéklerakónak nincs aljzatszigetelése. Vízbázis védelmi szempontból kedvező, hogy a szennyezést áteresztő kavicsréteg alatt szigetelő agyagréteg van. Ezt a természetes záró réteget viszont fokozottan védeni kell mind a természetes mind pedig a mesterséges sérülésektől.

Kulcsszavak: Indukált Polarizáció, fajlagos ellenállás, tomográfia, súlyozott amplitúdó érték, korrigált látszólagos vezetőképesség.

Abstract: In order to establish the internal structure of the investigated recultivated communal waste site, we used specific resistivity and induced polarization (IP) and magnetic surface geophysical methods. The bed of the waste body was determined by specific resistivity measurements, and the IP measurements were used to determine the footwall of contamination. Measurements have shown that the waste site has no lower insulation. From the point of view of the water base protection, it is favorable that an impermeable clay layer is located in the bed of waste body under the permeable gravel layer. However, this natural impermeable clay layer should be protected from both natural and artificial injuries.

Keywords: Induced Polarization, specific resistivity, tomography, waited amplitude value, corrected apparent conductivity.

1. BEVEZETÉS

Az 1950-es években az IP (Induced Polarization) módszert klasszikus érckutató módszerként vezették be [16], [3], [5] a földtani-geofizikai kutatások területén, a terepi [4] és a laboratóriumi [6], [7] méréseknél egyaránt.

Az 1980-as évektől kezdve a módszer fokozatosan elterjedt a környezetvizsgálati feladatok megoldásánál is, a környezeti szennyezésekre való nagy érzékenysége miatt.

Az IP módszer időtartományban mérhető $\eta_a(t)$ látszólagos polarizálhatósági görbéje integrál transzformációval írható le [8], s ezen transzformáció inverzével, az un. TAU-transzformációval [9] előállítható az méréshez tartozó időállandó spektrum ($w(\tau)$), ami a polarizáció időállandó (τ) szerinti súlyeloszlását adja meg.

Az időállandók növekedésével a filtrációs, a membrán, a redox, a fémes és a dielektromos polarizációk különíthetők el [12]. Az időállandók értékei alapján a polarizáció típusa és ezek földtani okai becsülhetők [15], míg az időállandó spektrum amplitúdója az adott időállandójú polarizáció súlyát adja meg.

A TAU-transzformációt diszperz ércesedést tartalmazó magminták laboratóriumi vizsgálatánál fejlesztettük ki [6], [7], terepi IP méréseknél pedig 1992-ben egy Offheim melletti kommunális hulladéklerakó vizsgálatánál alkalmaztuk először [10]. A sikeres terepi alkalmazást követően, a módszert eddig több mint ötven magyarországi mérési projektben használtuk [13], [14] eredményesen a területek állapotvizsgálatánál. Ezek közül a jelentősebbeket foglaltuk össze az 1. Táblázatban.

Offheim, 1992.	Ráckeve, 1997	Kecskemét, 1997.
Nyékládháza, 1997-2008.	Győröcske, 1999.	Pásztó, 2000.
Tokaj, 2001.	Balmazújváros, 2002.	Szerencs, 2004.
Tiszapalkonya, 2004.	Berekböszörmény, 2007.	Nagytárány, 2008.
Darvastó, 2008.	Tiszavasvári, 2008.	Nagytétény, 2008.
Miskolc-Hejőpart, 2008-2015.	Miskolc-Bedő hegy, 2009.	Telkibánya, 2010.
Miskolc-Salakbánya, 2010.	Miskolctapolca, 2010.	Miskolc-Gózon L. út, 2010.
Felsőtelekes, 2011.	Rudabánya, 2011.	Ózd, 2012.
Almásfüzitő, 2013.	Pocsaj, 2013.	Bükkszentkereszt, 2013-2014.
Abasár, 2013-2014.	Berhida, 2014.	Miskolc-Egyetemváros, 2015.
Pálháza, 2016.	Miskolc-Egyetemváros, 2016.	Miskolc-Martonbánya, 2017.
Miskolc-Egyetemváros, 2017.	Nyékládháza, 2017.	

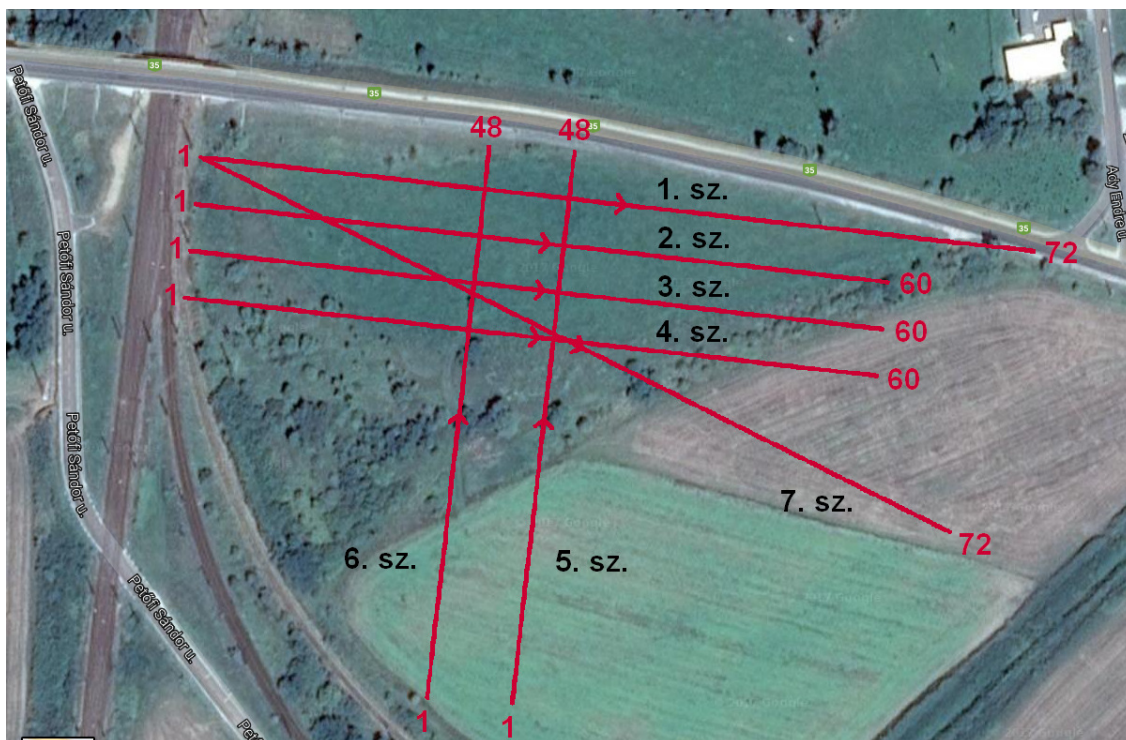
1. Táblázat A IP módszert alkalmazó környezetvizsgálat jelentősebb terepi alkalmazásai

A környezeti polarizációs szennyezettség fokának számszerű jellemzésére Turai [11] bevezette az un. időállandóval súlyozott amplitúdó érték (WAV - Waited Amplitude Value) paramétert, valamint a közetek ionos szennyezettségének becslésére az időállandó spektrum ($w(\tau)$) és a közeg egyenáramú látszólagos fajlagos vezetőképességének (σ_a) szorzataként előállított [12] korrigált látszólagos fajlagos vezetőképességet ($\sigma_{\text{corr}}(\tau)$).

2. A VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA

A felszíni geofizikai mérésekkel vizsgált terület Nyékládháza belterületén, a 35 számú főközlekedési út és a Miskolc-Budapest vasútvonal kereszteződése mellett található (1. ábra) rekultivált kommunális hulladéklerakó volt.

A több mint 110 000 m² nagyságú mérési területen az 1. ábrán feltüntetett 7 db szelvény mentén végeztük el a felszíni méréseket. A szelvények közül négy (1-4 szelvények) a rekultivált hulladéklerakó felett haladt, míg három (5-7 szelvények) esetében csak a szelvények hosszának közelítően a fele esett a hulladéklerakóra. (Az 1. ábrán jól kivehető – sötétzöld színnel – a hulladéklerakó területe.)



1. ábra. A felszíni geofizikai mérések területe

3. AZ ALKALMAZOTT GEOFIZIKAI MÓDSZEREK

A mérési programban fajlagos ellenállás tomográfiát, IP tomográfiát és mágneses térerősség mérést alkalmaztunk. A tomográfiai méréseket IRIS SYSCAL Pro Ch. 72 műszerrel, a mágneses térerősség méréseket pedig protonprecessziós magnetométerrel végeztük.

A tomográfiai méréseknél 5 méteres elektródaközű Wenner elektróda elrendezést [4] használtunk multielektrodás mérési technikával. Az 1. ábrán, a szelvények végein feltüntettük az első és az utolsó elektródák sorszámát.

A cikk további részében a tomográfiai mérések eredményeit és azok értelmezését mutatjuk csak be, mivel a mágneses mérések még folytatódnak.

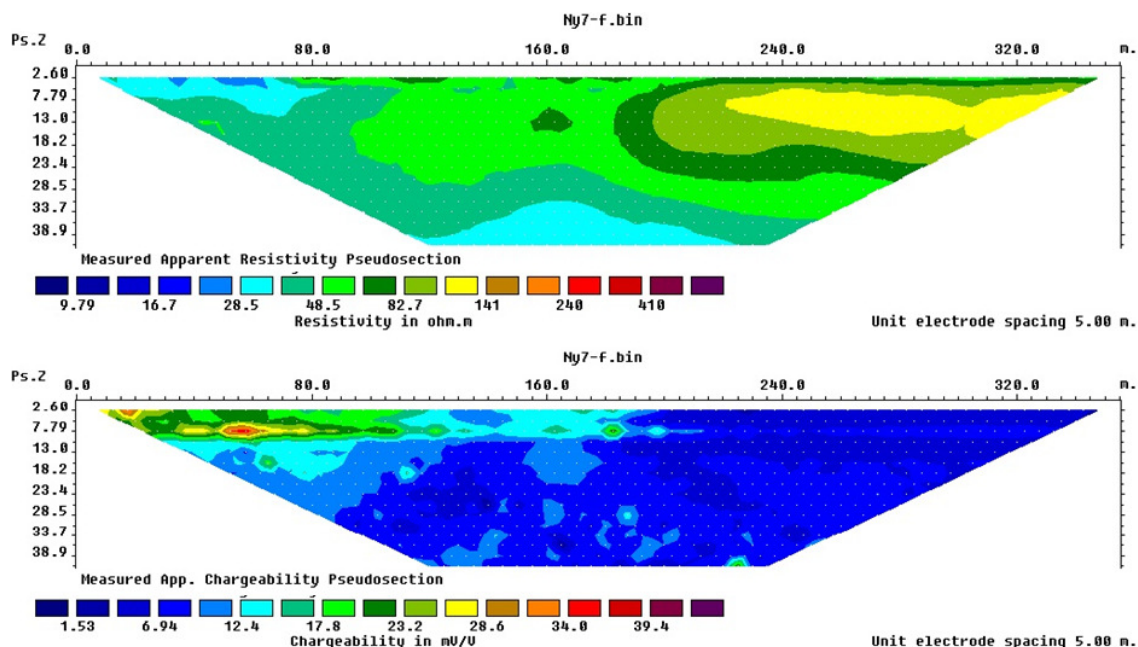
4. A MÉRÉSEK EREDMÉNYEI ÉS A MÉRT ADATOK FELDOLGOZÁSA

A felszínen végzett tomográfiai mérésekkel a szelvények nyomvonalala alatti vertikális síkban kapjuk meg a behatolási mélységig a talaj és a talajréteg alatt elhelyezkedő kőzetek un. látszólagos fajlagos ellenállás és látszólagos IP tölthetőség térbeli eloszlását. A látszólagos paraméterek az áramtérben található legkisebb és legnagyobb valódi fajlagos ellenállású, illetve valódi IP tölthetőségű térrész közötti paraméter értékeket vesznek fel, mivel a mérés áramtere integráltan látja az áramtérbe eső földtani képződményeket. A látszólagos paraméterképek illusztrálására, a 2. ábrán bemutatjuk a 7. szelvényen mért látszólagos fajlagos ellenállás (a 2. ábrán felül) és látszólagos IP tölthetőség (a 2. ábrán alul) képeket.

A hulladéktest a környezeténél kisebb fajlagos ellenállással és nagyobb IP tölthetőséggel jellemezhető, azonban ennek alapján – mit az a 2. ábrán fent látható – a mért látszólagos fajlagos ellenállás képen egyáltalán nem határozható le a hulladék. Az ábra alsó részén feltüntetett látszólagos IP tölthetőség eloszláson már sokkal jobban kijelölhető a hulladéktest polarizációs határa, a 0 méter – 190 méter horizontális szelvényszakaszon a 0 méter és 10 méter közötti mélységintervallumban, mivel az IP hatás döntően felületi polarizációhoz

köthető.

A látszólagos paraméter eloszlásokból a valódi paraméterek térbeli eloszlásait inverziós rekonstrukcióval tudjuk meghatározni. Az inverziós adatfeldolgozást a kereskedelemben kapható, és a geoelektromos gyakorlatban széles körben alkalmazott RES2DINV szoftverrel [1], [2] hajtottuk végre.



2. ábra. A látszólagos fajlagos ellenállás (fent) és a látszólagos tölthetőség (lent) térbeli eloszlása a 7. szelvény alatti vertikális síkban

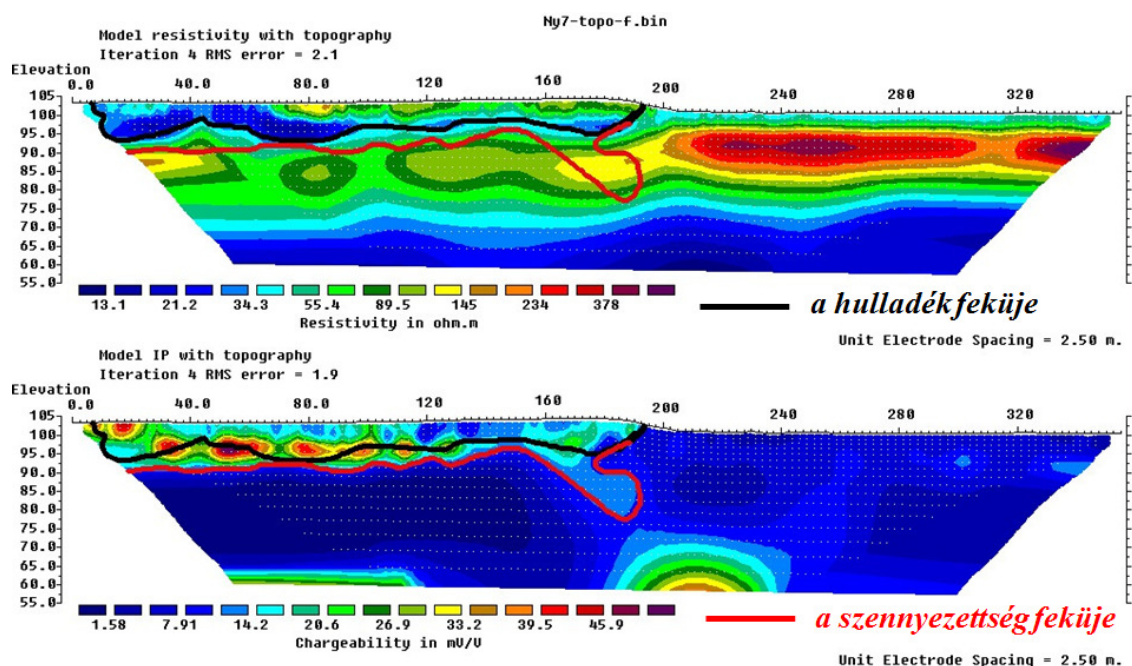
5. A HULLADÉKLERAKÓ SZERKEZETE

Az inverziós rekonstrukcióval előállítottuk a mért szelvények alatti valódi fajlagos ellenállás eloszlásokat és valódi IP tölthetőség eloszlás képeket. A 7. szelvény esetében a valódi paraméter képeket a 3. ábrán mutatjuk be. Az ábrán látható, hogy a valódi paraméterképek már kiválóan mutatják a hulladéktest térbeli helyzetét, horizontális és mélységi határait, valamint a belső szerkezetét.

A 3. ábra felső részén szereplő valódi fajlagos ellenállásképen fekete vonallal feltüntettük a hulladéktest fekvését, az ábra alsó részén látható valódi IP tölthetőség eloszláson pedig piros vonallal a polarizációs szennyezettség határát. Összehasonlítva a két fekvést, megállapítható, hogy az eredetileg lerakott hulladék alatt és annak környezetében olyan térrészek is szennyezés mutatható ki, ahol már nincs hulladék. Ennek az az oka, hogy a hulladékot több évtized alatt felülről átmosták a csurgalékvizek és kioldották a hulladékból a szennyező ioncsoportokat. Az ionok elszennyezték a hulladéktest alatt elhelyezkedő kavicsréteg pórosaiban lévő kötött- és szabadvizet, mivel a hulladék alatt közvetlenül sem mesterséges aljzatszigetelés, sem pedig természetes záró réteg (agyag) nem található. Ennek következtében a szennyezettség térfogata közel duplája a hulladék térfogatának. Szerencsére azonban, a kavicsréteg alatt megfelelő vastagságú agyagréteg található, ami megakadályozta a nyomás alatti (zárt tükrű) vízbázis elszennyeződését.

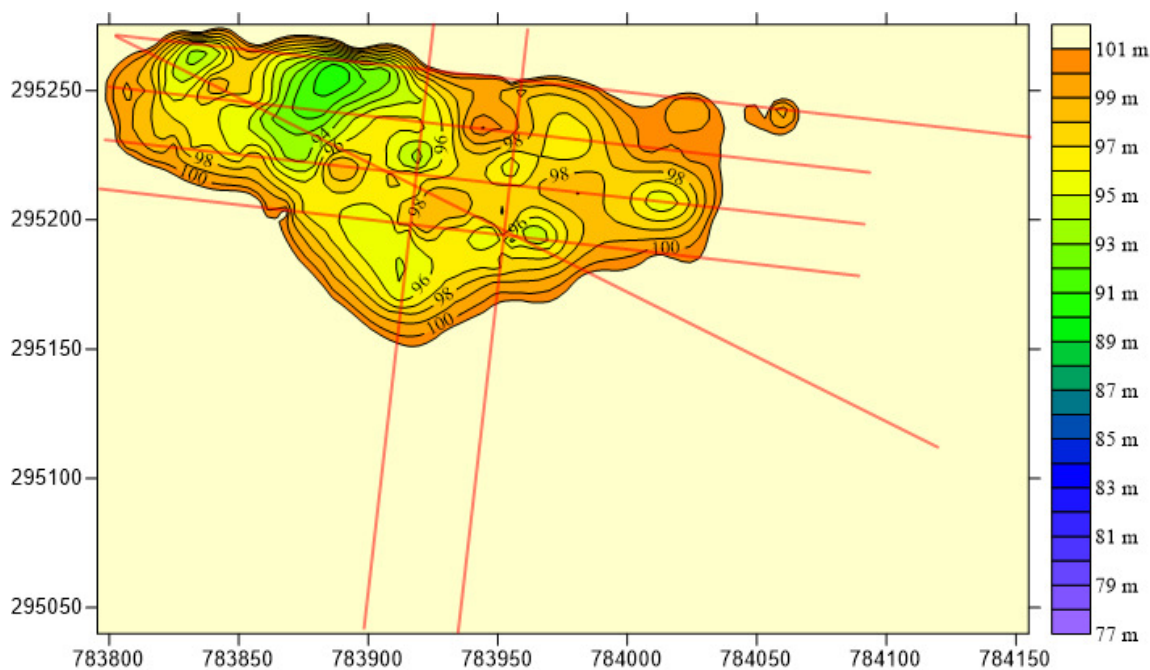
A 3. ábra felső részén, a felszín közelében megfigyelhető a nagyobb fajlagos ellenállású száraz takaró talajréteg, amit a hulladéklerakó rekultivációs munkálatainál helyeztek el a hulladék felszínén. Ez a takaró réteg megakadályozza a kiporzást, a szennyező anyagok levegőbe kerülését.

Mind a fajlagos ellenálláskép, mind pedig a tölthetőségi kép jól mutatja a hulladék inhomogenitását, az erősebb és a kevésbé erős szennyezettségi anomáliákat a hulladéktesten belül.

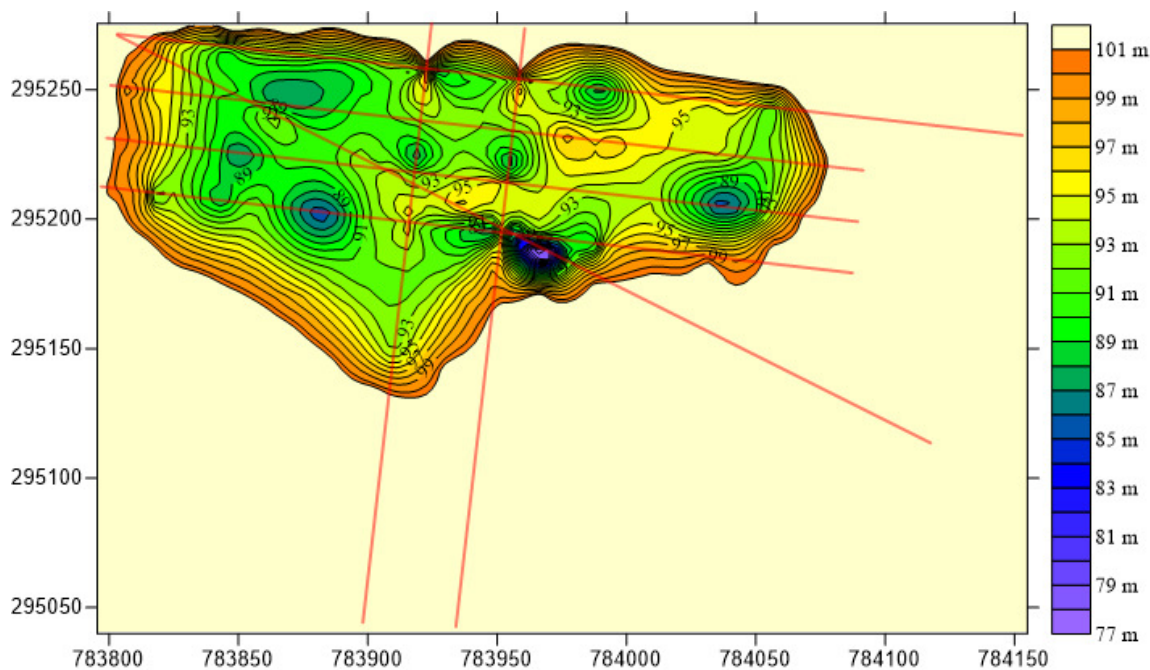


3. ábra. A valódi fajlagos ellenállás (fent) és a valódi IP tölthetőség (lent) térbeli eloszlása a 7. szelvény alatti vertikális síkban

A 7 db szelvény invertált adatainak egyesítésével megszerkesztettük és a 4. ábrán bemutatjuk, a hulladéktest feküjének izovonalas térképét EOVS (méter) egységben, valamint a polarizációs szennyezettség fekü térképét (5. ábra).



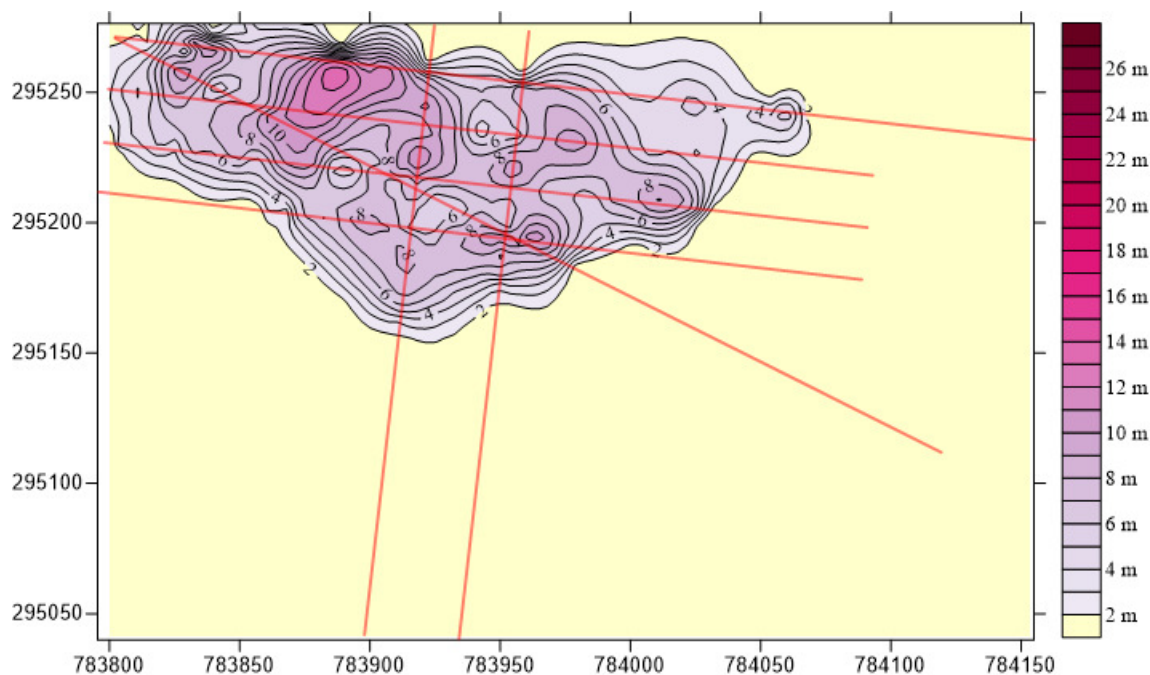
4. ábra. A hulladék feküjének izovonalas térképe



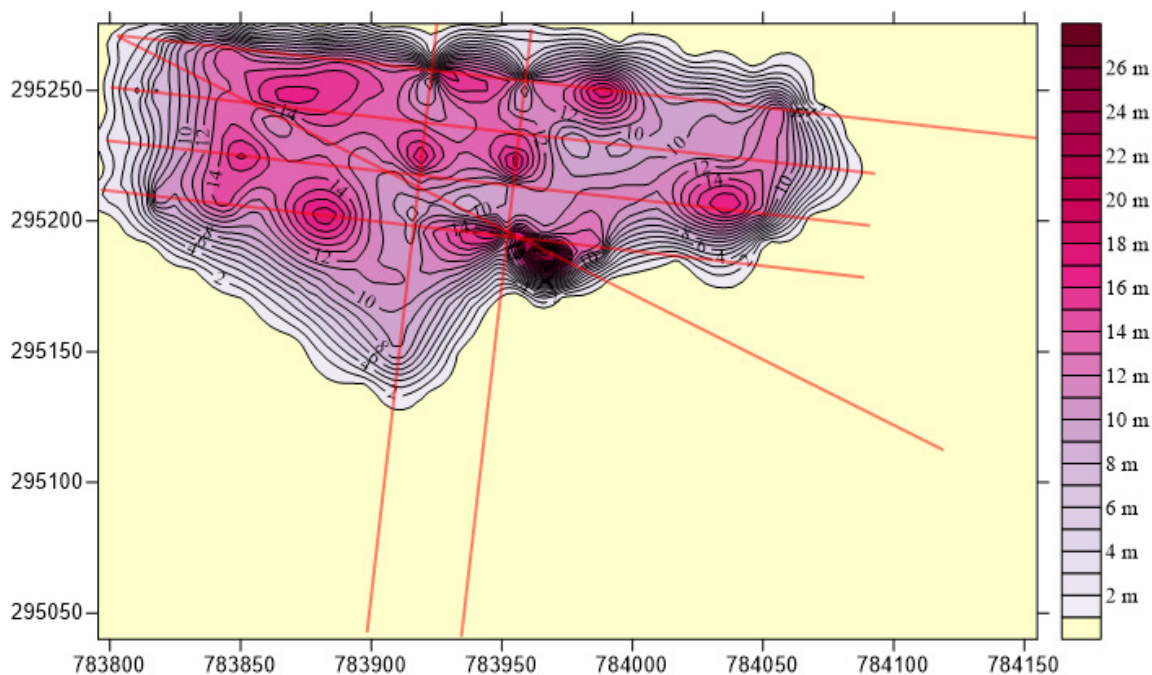
5. ábra. A szennyezettség feküjének izovonalas térképe

Az előző két ábrát összehasonlítva megállapítható, hogy a szennyezés feküje mindenütt mélyebben található, mint a hulladéktest alja. A hulladék térfogatának és a szennyezett térrész térfogatának a kiszámításához hulladékvastagság térképet (6. ábra) készítettünk és előállítottuk szennyezett térrész vastagság térképét (7. ábra) is.

A vastagság térképek alapján becsült hulladék térfogat 126864 m^3 , míg a szennyezett térrész nagysága 265930 m^3 . Látható tehát, hogy a szennyezett térrész térfogata több mint duplája – 210 %-a – a hulladéktest térfogatának.



6. ábra. A hulladékvastagság izovonalas térképe



7. ábra. A szennyezettség vastagságának izovonalas térképe

6. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE ÉS A TOVÁBBI TERVEZETT VIZSGÁLATOK

A mérések alapján megállapítható, hogy a vizsgált kommunális hulladéklerakó létrehozásakor nem alkalmaztak aljzatszigetelést. A létrehozásakor feltehetően egy külszíni kavicsbánya bányagödrébe kezdték lerakni a hulladékot. A felszínről érkező csurgalékvizek kimosták (kimossák) a hulladéktestből az ionos szennyező anyagokat és elszennyezték (elszennyezik) a hulladék alatti kavicsréteget – vertikálisan és horizontálisan is.

A szennyezés bejutását a mélységi (nyomás alatti) vízbázisba azonban a kavicsréteg alatti agyagréteg megakadályozta. A természetes védelmet jelentő agyagréteget a hulladéklerakó környezetében fokozottan védeni kell a sérüléstől, ezért fúrásos talajmechanikai kutatás, mélyalapozás, cölöpös építési technológia alkalmazását nem javasoljuk. Kedvező, hogy hulladéklerakó rekultivációjánál alkalmazott fedő talajréteg megakadályozta a szennyezőanyagok levegőbe jutását, a kiporzást.

A továbbiakban tervezzük a mágneses mérések befejezését, a tomográfiai eredmények 3D inverziós rekonstrukcióját, valamint a hulladék összetételének időálló spektrumokkal történő becslését és a polarizációs szennyezettség kvantitatív meghatározását a WAV és a σ_{corr} paraméterek segítségével.

Javasoljuk a hulladéklerakó ismételt mérésekkel történő állapotvizsgálatát, illetve monitoring rendszer kiépítését a lerakó környezetében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, az „INNOVÍZ-Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című GINOP-2.3.2-15-2016-00031 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BARKER, R., D.:** *A simple algorithm for electrical imaging of the surface*, First Break, 10, pp 53-62.
- [2] **GEOTOMO SOFTWARE:** *Res2DINV 3.55*, Malaysia, www.geoelectrical.com .
- [3] **KELLER, G. W., FRISCHKNECHT F. C.:** *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*, Pergamon Press, Oxford, 1966.
- [4] **KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I.:** *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Publishing Company, Oxford, 2002.
- [5] **SUMNER, J. S.:** *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976.
- [6] **TURAI E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus paramétereinek meghatározása kőzetmintákon*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1978, 19-25.
- [7] **TURAI E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus kőzETFizikai paramétereinek meghatározására szolgáló műszer-módszer továbbfejlesztése*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1979, 8-44.
- [8] **TURAI E.:** *GP time-domain görbék TAU-transzformációja*, Magyar Geofizika XXII/1, 1981, 29-36.
- [9] **TURAI, E.:** *TAU-Transformation of Time-Domain IP Curves*, ANNALES Univ. Scien. Budapestinensis de Rolando Eötvös Nom. I-II, 1985, pp. 182-189.
- [10] **TURAI, E., ELSÉN, R., LIMBROCK, K.:** *Analysis of IP time-domain data measured above a waste site near Offheim using TAU-transformation of IP chargeability curves*, TEMPUS pr. Report, DMT Institute for Applied Geophysics, Bochum, 1992.
- [11] **TURAI, E.:** *IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra*, Geophysical Transactions 44, 2004, pp. 301-312.
- [12] **TURAI, E.:** *Data Processing Method Developments using TAU-transformation of time domain IP data*, Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 46(4), 2011, pp. 391-400.
- [13] **TURAI, E.:** *Application possibilities of IP method in the fields of environmental protection, ore- and direct hydrocarbon exploration*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 2012, pp. 161-166.
- [14] **TURAI, E.:** *Some field measurement results of IP method*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 2012, pp. 167-172.
- [15] **TURAI E., NÁDASI E., SZILVÁSI M.:** *A geoelektromos geofizikai módszerek terepi alkalmazásának új eredményei a környezetvizsgálatok területén*, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016, ISBN:978-963-7064-33-3, Miskolc, Debrecen, 2016, 680-689.
- [16] **WAIT, J. R.:** *Overvoltage Research and Geophysical Applications*, Pergamon Press, London, 1959.

A MŰSZAKI FEJLESZTÉSEK HATÁSA AZ EREDMÉNYESSÉGRE

EFFECT OF TECHNICAL DEVELOPMENTS ON EFFICIENCY

VÁNTUS András¹, CSATÁRI Nándor², BALLA Zoltán³

¹adjunktus, vantus@agr.unideb.hu

¹Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

²tudományos segédmunkatárs, csatarin@agr.unideb.hu

²Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

³tudományos segédmunkatárs, ballastone@gmail.com

²Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: A szerzők Hajdú-Bihar megyében, 4 tehenészetben vizsgálták egy 10 éves intervallumban végrehajtott műszaki fejlesztések jellegét és összegeit, illetve az összegek megoszlását. Az adatokat szóbeli interjúval, valamint a módszeres megfigyeléssel gyűjtötték. A vizsgálatok kimutatták, hogy a fejlesztéseket követően minden telepen, mindhárom munkatermelékenységi mutató javult. Annak ellenére, hogy a vizsgált gazdaságokban jelentős összegben történtek fejlesztések, mégis nagy eltérések mutatkoztak a munkatermelékenységi mutatóknál. A legjobb mutatókkal az a két gazdaság rendelkezik, ahol a nagyobb összegű fejlesztések valósultak meg.

Kulcsszavak: fejlesztés, humán ellátottság, műszaki ellátottság, tejtermelő telepek

Abstract: The authors have examined the nature and the amounts of the technical development and the distribution of the amounts which was carried out over in a 10-year interval at four dairy-farms in Hajdú-Bihar County. Data were collected by oral interviews and methodical observation. Studies have shown that after development, all three labour productivity indexes improved at the studied farms. Although there were significant developments on the examined farms, there were large differences in labour productivity indicators. There are the best indicators on that two farms where the larger amount of improvements has been realized.

Keywords: development, human resource, technical supply, dairy farms

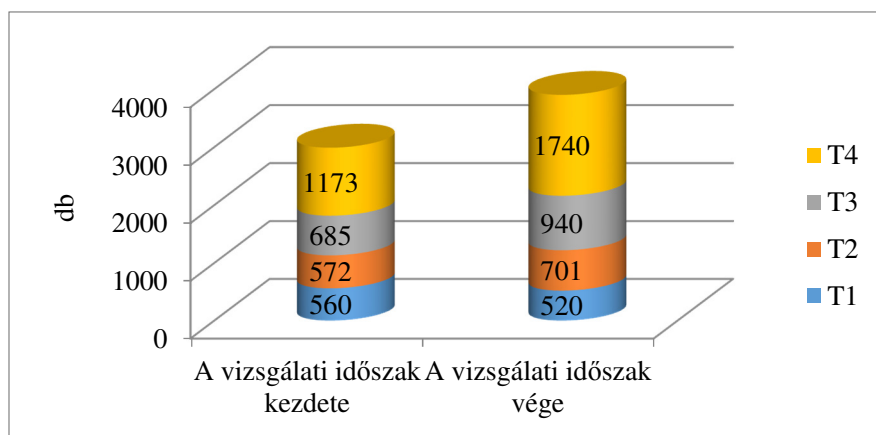
1. A HUMÁN ÉS MŰSZAKI ELLÁTOTTSÁG JELENTŐSÉGE ÉS KAPCSOLATA A TERMELÉSBEN

A költségek csökkentése – főként napjainkban – a gazdálkodás egyik központi érdeke és feladata. Emiatt a tevékenység humán (munkaerő) tényezőjét össze kell hangolni a műszaki tényezőkkel. Azonban a hatékonyság növelése nem csupán technikai illetve műszaki kérdés, hanem a dolgozók szakmai felkészültsége is meghatározó tényező. Megállapítható, hogy a humán-erőforrás fejlesztés a jövőben még inkább hangsúlyos lesz az ágazat hatékonyságának növelése terén [1]. Ennek oka, hogy csak az ember rendelkezik olyan tulajdonságokkal, mint a kreativitás, rugalmasság és innovációs készség, amelyek nélkül a termelés nem tud előre lépni [2]. Ahhoz, hogy a változó üzleti környezetben a vállalatok alkalmazkodó-képesek legyenek és versenyben maradhassanak, kritikus szinten szükség van a tudásmenedzsment rendszerek kialakítására és működtetésére. Azokban a vállalati folyamatokban válik fontossá, amelyek keresik a szinergiákat az információs technológia információ-feldolgozó képessége, valamint az emberek kreatív és innovatív képessége között [3]. Tehát az ember, a munkát végző dolgozó felértékelődött, a munka jó minőségben és minél kevesebb időráfordítással történő elvégzése okán. A munkaidő-ráfordítás befolyásolja a munkabért, ami az egyik fontos költségtényező. A célunk tehát a fizikai munkák gépesítése, ezzel együtt a hatékonyság fokozása, emellett a termékek minőségének javítása [4]. A technikai fejlesztés a versenyképesség fokozásának egyik záloga [5]; [6]; [7]. A precíz gazdálkodás műszaki vonatkozásaira kiemelt figyelemmel kell lenni [8]; [9]. Az energiaköltség a termelés

költségeinek másik típusa. Egyre inkább láthatunk példákat a gazdaságokban ezen költségek csökkentésére, közöttük az energiatermelés megújuló lehetőségeire [10]; [11]. A termelés korszerűsítése fejlesztéseket igényel, amelyekhez forrásokat szükséges megszerezniük a gazdaságoknak. Erre nézve a pályázati lehetőségek kihasználása javasolt [12].

2. A VIZSGÁLT GAZDASÁGOK TERMELESI JELLEMZŐI

A négy Hajdú-Bihar megyei tehenészeti telepen (T1, T2, T3, T4) 10 éves időközzel végzett felmérés megmutatta, hogyan alakult a tehenlétszám, a dolgozói létszám, valamint a műszaki felszereltség, milyen jellegű korszerűsítéseket hajtottak végre a gazdaságok. Azt is vizsgáltuk, hogy milyen forrásokból valósították meg a fejlesztéseket. Az adatokat szóbeli interjúval és módszeres megfigyeléssel gyűjtöttük. Mivel a gazdálkodás sikerességére hatással van a termelő tehenállomány mérete, így ezt jellemezzük a tanulmány első részében. Az 1. ábra jól mutatja, hogy a 10 éves vizsgálati intervallumban a négy telep összes tehenlétszáma 30%-os növekedést ért el. Viszont ha ezt telepenként nézzük, akkor háromnál növekedés volt (23%, 37%, 48%), és 1 telepen (T1) csökkent a tehenlétszám (7%-kal).



1. ábra. A gazdaságok tehenállomány-adatai

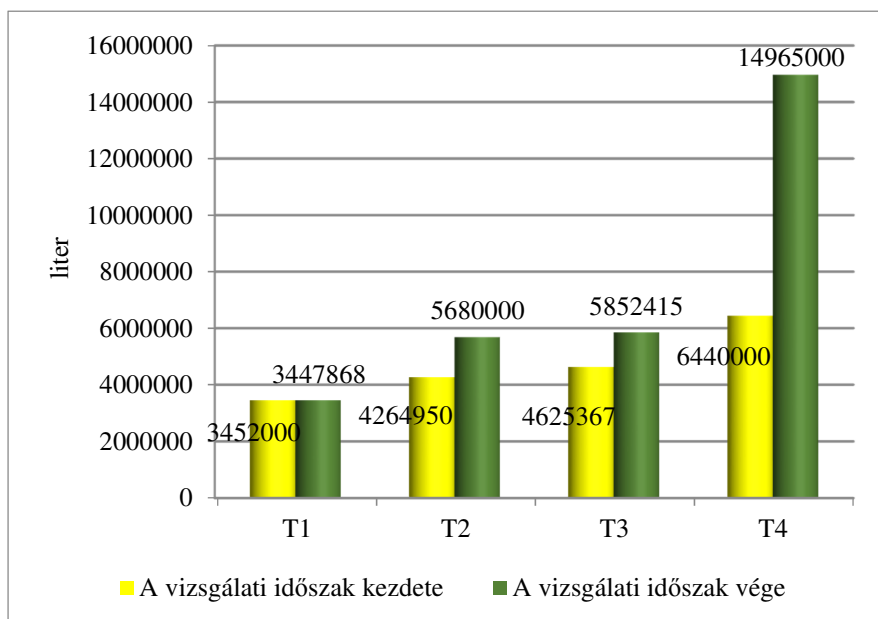
Megjegyzendő, hogy – ahogy a grafikonról is leolvasható – a T4 telep tehenlétszáma már a felmérés kezdetén is magasabb volt, mint a T2 és T3 telepen a vizsgálat végi tehenlétszám. Ezt követően célszerű megfigyelni a fizikai dolgozók létszámalakulását a 10 év alatt (1. Táblázat).

1. Táblázat A gazdaságok dolgozói létszámadatai

Gazdaság	Dolgozói létszám (fő)	
	A vizsgálati időszak kezdete	A vizsgálati időszak vége
T1	24	20
T2	30	22
T3	18	21
T4	49	49,5
Összesen	121	112,5

Míg a tehenlétszám összességében 30%-os mértékben növekedett, addig a dolgozó létszám összességében 7%-kal csökkent. A tehenlétszám növekedését nem követte sehol ugyanolyan

mértékű dolgozói létszám-emelkedés. A leginkább szembetűnő, hogy a T4 tehenészetben a 48%-os tehénlétszám-emelkedés mellett a dolgozók létszáma csupán 1%-kal növekedett. A T1 telepen a 7%-os tehénlétszám-csökkenés mellett a dolgozói létszám csökkenése ennek több mint kétszerese (17%).



2. ábra. A gazdaságok tejtermelési adatai

A 2. ábrából kitűnik, hogy a vizsgálati időszak kezdetén, a négy telepen termelt tej összesen 18 782 317 liter volt. Ezzel szemben a felmérés végén 29 945 283 liter volt, amely 59%-os növekedést jelent. Azokon a telepeken, ahol nőtt a tehénlétszám, ott több lett a termelt tej mennyisége is. A T4 gazdaság amiatt emelendő ki, mivel a tehénlétszám 48%-kal lett nagyobb, de a termelt tej mennyisége meghaladta a korábbi mennyiség kétszeresét is. A T1 telepen a tehénlétszám csökkent ugyan 7%-kal, de a termelt tej mennyisége csupán 0,1%-kal csökkent.

3. A VIZSGÁLATI IDŐSZAK FEJLESZTÉSEINEK JELLEGE, ÖSSZEGEI ÉS AZOK TÍPUSAI

A következőkben a 10 éves időtartam alatt végrehajtott fejlesztések jellemzőit mutatjuk be és szemléltetjük.

2. Táblázat A gazdaságok fejlesztési összegei és annak megoszlása

Gazdaság	Támogatás (Ft)	Önerő (Ft)	Fejlesztés összesen (Ft)
T1	537 759 250	455 919 750	993 679 000
T2	401 800 000	593 200 000	995 000 000
T3	644 116 876	602 933 676	1 247 050 551
T4	680 000 000	1 093 200 000	1 773 200 000
Összesen	2 263 676 126	2 745 253 426	5 008 929 551

A 2. Táblázat jól mutatja, hogy a T1 és a T2 telep közel 1 milliárd forintot, míg a T3 és a T4 telep 1 milliárd forintot meghaladó összegű fejlesztést hajtott végre. Ez az összeg a négy

gazdaság vonatkozásában meghaladta az 5 milliárd forintot. Külön kiemelendő, hogy a lehívott támogatási összeg meghaladta a 2 milliárd forintot a négy telepen.

Láthatjuk, hogy amely telepek (T3, T4) nagyobb önerővel rendelkeztek, azok nagyobb összegű forrás lehívására nyújtottak be sikeres pályázatot, melyet meg is valósítottak. A megvalósítás jellegére (a fejlesztések ténylegesen mire fordítottak) a 3. Táblázat ad tájékoztatást.

3. Táblázat A fejlesztési összegek felhasználásának területei

Gazdaság	Út, épület, építmény		Gépek	
	Támogatás (Ft)	Önerő (Ft)	Támogatás (Ft)	Önerő (Ft)
T1	403 709 937,50	341 903 312,50	134 049 312,50	114 016 437,50
T2	374 800 000,00	562 200 000,00	27 000 000,00	31 000 000,00
T3	527 515 147,00	457 299 147,00	116 601 728,50	145 354 528,50
T4	568 000 000,00	852 000 000,00	112 000 000,00	241 200 000,00
Összesen	1 874 025 084,50	2 213 402 459,50	389 651 041,00	531 570 966,00

Megállapítható, hogy összességében mind az önerő, mind a támogatási összeg vonatkozásában az út-épület-építmény kategóriában figyelhetünk meg magasabb összeget, mint a gépek kategóriájában. Ugyanez állapítható meg, ha külön-külön nézzük az egyes telepeket.

Az is látható, hogy a T1 és a T3 tehenészeteknél a támogatási összeg meghaladta az önerő mértékét az út-épület-építmény vonatkozásában. A gépek vonatkozásában ez csupán 1 gazdaságra (T1) érvényes.

Az előzőekben részletezett összegekhez kapcsolódik még a T3 gazdaság képzésre fordított összege, amely 280 000 Ft saját forrás volt a vizsgált időszakban.

A vizsgálati intervallumban megvalósított konkrét beszerzéseket a dolgozat következő részében jellemezzük. A fejlesztések jellegénél elsőként azokat említjük, amelyeket mindegyik gazdaságban végrehajtottak.

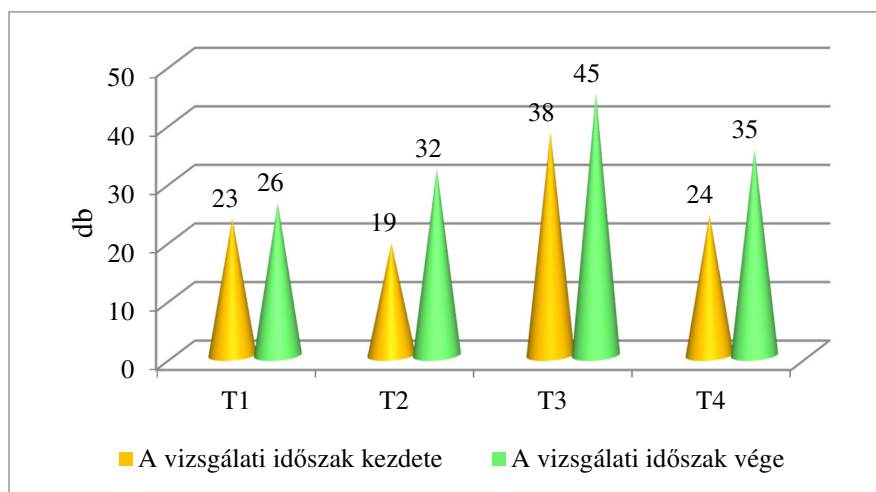
Így elmondható, hogy épület, istálló, fejőház, fejőgép, tejtartály korszerűsítése, építése mindegyik telepen megtörtént. Ugyanez vonatkozik a telepi állatszállítás illetve anyagmozgatás-tárolás gépeire (takarmány illetve trágyaszállítás-tárolás) is.

Nem mindegyik telepre érvényes, de a tejhűtés (T1, T3, T4), az istállóklíma (T1, T3, T4), az állatápolás berendezései (T1, T3, T4) szintén részét képezték a beruházásoknak. Az úthálózatot két gazdaságban (T1 és T3) javították. A T2 tehenészetben tetőfelújítás, míg a T1 és a T3 gazdaságban csapadékvíz elvezető rendszer kiépítése történt meg. Kerítés (T3) és karám (T2), valamint az egyedi borjúketrecek vonatkozásában ugyanezen telepeken valósultak meg fejlesztések. A takarmányok szárítására és tárolására, valamint a telepi világítás és kamerarendszer korszerűsítésére kizárólag a T3 telepen fordítottak forrásokat. A tehenek fejőházba való tereléséhez szükséges zsúfolókaput csupán a T4 telepen szerezték be az említett forrásokból. Azt is szükséges itt megjegyezni, hogy az előbbieken nem szerepelt mindegyik telepen a lehetséges összes berendezés fejlesztése, de ennek az is lehet az oka, hogy bizonyos gazdaságok már a vizsgált időszak előtt rendelkeztek azzal az ellátottsággal.

4. A FEJLESZTÉSEK HATÁSA A MUNKATERMELÉKENYSÉGRE

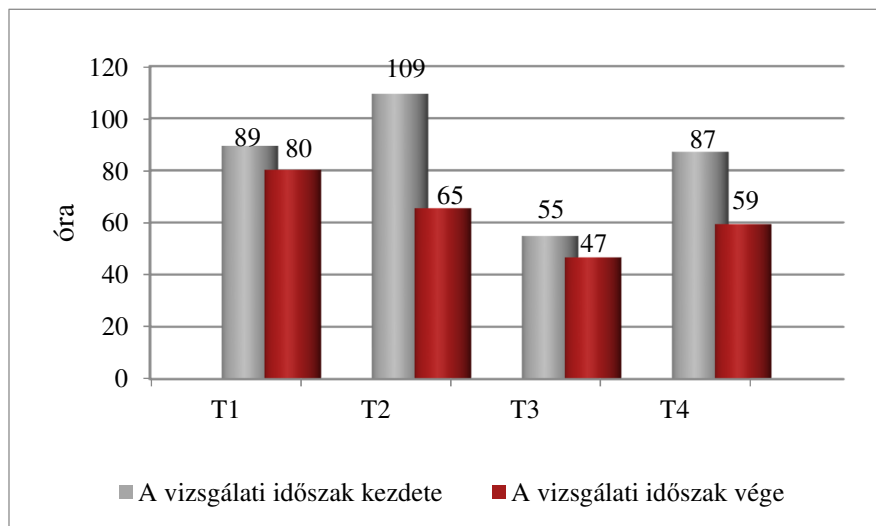
A közel 1 milliárd Ft-os, valamint az 1 milliárd forint feletti összegű fejlesztések munkatermelékenységi mutatókra gyakorolt hatását a következőkben mutatjuk be.

Az 1 fizikai dolgozóra jutó tehénlétszám adatokat a 3. ábra szemlélteti. Kitűnik, hogy minden telepen javult ez az érték a 10 év alatt. A legkisebb mértékű javulás a T1 telepen volt (11%), a legnagyobb pedig a T2 gazdaságban (67%). Meg kell azonban állapítani, hogy a vizsgálat kezdetén ez a telep rendelkezett a legrosszabb mutatóval. A két legjobb értékkel rendelkező telep (T3, T4) az, amelyiknél a fejlesztési összeg meghaladta az 1 milliárd forintot. Fontos megjegyezni, hogy a T3 telepnél a javulás csupán 18%-os, ám ennél a gazdaságnál a 10 évvel ezelőtti adat magasabb, mint a másik 3 telep mutatója a vizsgált intervallum végén.



3. ábra. Az 1 fizikai dolgozóra jutó tehénlétszám

A másik munkatermelékenységi mutató az 1 tehén gondozására jutó éves munkaóra (4. ábra).



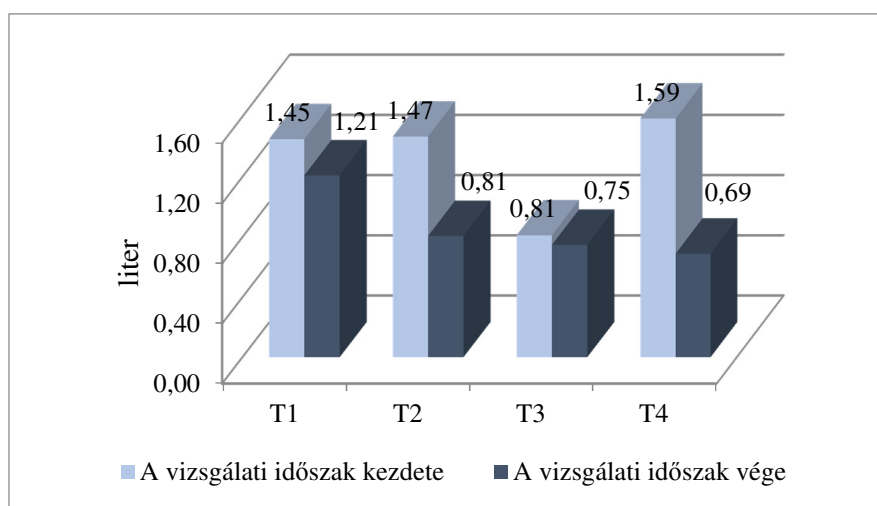
4. ábra. Az 1 tehén gondozására jutó éves munkaidő

Ezek a mutatók mindegyik gazdaságban javultak. A változás mértéke 10%-tól (T1) 40%-ig (T2) terjed. A felmérés végén azok a telepek fordítanak legkevesebb időt 1 tehén gondozására 1 év alatt, amelyeken a fejlesztések összegei a legmagasabbak voltak. Itt is láthatjuk, hogy a T3 gazdaság induló mutatója jobb volt, mint a többi tehenészet vizsgált időszak-végi értéke. Mivel a termelés költségeit nézve a munkabér az egyik költségtenyező, ezért ez a csökkenés a

munkaidő-ráfordításnál számottevő összegű megtakarítást eredményezhet. Ez a megtakarítás felhasználható a gazdaság bármely területén.

A harmadik mutatót - a 100 liter tej előállítására fordított munkaórát - az 5. ábra szemlélteti. Itt is minden telepi mutató javult a felmérés végére. Kiemelendő a T4 telep, ahol a vizsgált időszak végi érték csupán 43%-a a korábbinak. Ezzel együtt a legjobb is ez a mutató a telepek között, értéke 0,69 óra.

Úgyszintén kedvező a T2 telep mutatója is, ahol a kezdeti időfelhasználásnak 55%-a a felmérés végi érték. Ehhez az információhoz fontos megjegyezni - ami az ábrából is látható – hogy ennél a két telepnél volt a legrosszabb ez a mutató a kezdeti időpontban. A felmérés végi mutatók a T3 és a T4 telepen a legjobbak – és a korábban jelzettekre utalva – ezeken a telepeken valósultak meg a legnagyobb összegű beruházások, beszerzések.



5. ábra. A 100 liter tej előállítására fordított munkaóra változása a gazdaságokban

5. A VIZSGÁLATON ÉS ÉRTÉKELÉSEN ALAPULÓ KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

1. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a fejlesztésekhez minden gazdaság a saját forrását igyekezett pályázati összegekkel kiegészíteni.
2. Azonos jellegű beruházások és fejlesztések több telepen is lezajlottak.
3. A T4 gazdaságban a tehénállomány is jelentős mértékben emelkedett.
4. A fejlesztéseket követően minden telepen, mindhárom munkatermelékenységi mutató javult.
5. A legjobb mutatókkal az a két gazdaság rendelkezik, ahol a nagyobb összegű fejlesztések valósultak meg.
6. Annak ellenére, hogy a vizsgált gazdaságokban jelentős összegben történtek fejlesztések, mégis nagy eltérések mutatkoztak a munkatermelékenységi mutatóknál.
7. Ahol a mutatók lényegesen gyengébbek a többi gazdaság mutatóinál, ott a telepi munkaszervezés újragondolást igényel.
8. A gazdaságok számára javasolható, hogy törekedjenek az önerejük kiegészítéseket pályázati forrásokat is megcélozni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **NÁBRÁDI A.:** *A gazdasági hatékonyság értelmezése napjaink mezőgazdaságában.* In: A mezőgazdaság tökeszükséglete és hatékonysága DE ATC AVK., 2005., Debrecen
- [2] **PFAU E.:** *A mezőgazdasági vállalkozások termelési tényezői, erőforrásai.* Egyetemi jegyzet, 1998., Debrecen
- [3] **BENCSEK A., JUHÁSZ T.:** *Innováció és tudásmenedzsment a szervezetekben.* In: Juhász György, Šeben Zoltán, Dobai Korcsmáros Enikő, Huszárik Sere Erika (szerk.) Selye János Egyetem. 2014., p. 10-28.
- [4] **HUSTI I.:** *Állattartási, majori gépek.* In: Műszaki-beruházási ismeretek. Debreceni Egyetem AMTC AVK. 2007., p. 61.
- [5] **HARSÁNYI E., HARSÁNYI G., NAGY A. J.:** *Területi fejlettségi különbségek az Észak-alföldi régióban.* Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám. 2005., p. 170-180.
- [6] **A. VÁNYINÉ SZÉLES, I. BOGDÁN, D. SÜLYÖK, J. NAGY.:** *The effect of fertilisation and irrigation on the yield of different genotype maize hybrids and the economic aspects of production.* (George J Halasi-Kun (szerk.) In: Halasi-Kun G J (szerk.) *Impact of Anthropogenic Activity and Climate Changes on the Environment of Central Europe and USA*, Columbia University - University Seminars. 2012., p. 341-360.
- [7] **SÜLYÖK D., FERENCSEK S., RÁTONYI T., HUZSVAI L., NAGY J.:** *Agronomical and agro-economic evaluation of maize production in various cultivation systems.* Növénytermelés 62: (Suppl.) 2013., p. 33-36.
- [8] **HAGYMÁSSY, Z., ANCZA, E.:** *Experience of an Intensive Program Course on Utilization of High Technology Equipment.* In: Herdon M, Rózsa T, Szilágyi R (szerk.) *Agrárinformatika 2011 Konferencia / Agricultural Informatics Conference: Innovative information technologies in agriculture.* Debrecen: Magyar Agrárinformatikai Szövetség, 2011., p. 80-86. ISBN:978-615-5094-05-7
- [9] **HAGYMÁSSY Z., GINDERT-KELE Á.:** *Műtrágyaszóró gép kúpos-szalagos szóró szerkezetének vizsgálata.* MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015., p. 290-293. ISBN:978-963-7064-32-6
- [10] **HAGYMÁSSY, Z.:** *Analysis of operating photovoltaic power panels.* Agricultural Informatics 2012 Conference Debrecen, Magyarország, 2012.09.21-2012.09.22. Magyar Agrárinformatikai Szövetség, 2012., p. 15-20.
- [11] **HAGYMÁSSY, Z.:** *Operational experienced of an 8.64 kWp grid-connected PV array.* Agrárinformatika / Journal of agricultural informatics 4:(2) 2013., p. 53-58.
- [12] **OLÁH J.:** *Támogatások jelentősége a Nagykállói statisztikai körzetben.* A térségfejlesztés vezetési és szervezési összefüggései. Tudományos ülés, Debrecen, 2006., 210-218. p.

A FÚRÁSI ISZAPOK SZEREPE ÉS ALKALMAZÁSI HATÁRAI HPHT VISZONYOK KÖZÖTT

THE ROLE AND SCOPE OF DRILLING MUD IN HPHT CONDITIONS

VARGA Gyula Gábor¹, JOBBIK Anita²

¹MSc., Tudományos segédmunkatárs, oljvarga@uni-miskolc.hu
Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci-Egyetem

²Ph.D., Tudományos főmunkatárs, jobbik@afki.hu
Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci-Egyetem
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Kivonat: Az egyre mélyülő kutaknál jelentős gondot okoz a magas hőmérséklet és/vagy nyomás, különösen HPHT kutak esetén. Ez különösen igaz a fúrási folyadékokra melyek elengedhetetlen része a fúrási folyamatnak, és közvetlen hatással vannak a fúrási program teljesíthetőségére. A hőmérséklethez és nyomáshoz kapcsolódó akadályok a jövőbeli energiakutatás szempontjából jelentős kihívásokat támasztanak, melyekre a nanotechnológia nyújthat megoldást.

Kulcsszavak: Fúrási iszapok, fúrási technológiák, innováció a kőolaj- és földgáziparban, nem-hagyományos kutatás, HPHT

Abstract: High temperature and/or pressure cause serious problem in wells especially in case of HPHT wells. This is particularly true for drilling muds which are indispensable part of drilling process and have a direct effect on the drilling program feasibility. The problem concerning with high temperature and pressure is a huge challenge from the point of view further energy research. For this problem nanotechnology could provide solution.

Keywords: drilling mud, drilling technology, innovation in oil- and gas industry, unconventional research, HPHT

1. A FÚRÁSI ISZAPOK FELADATA

A fúrási iszapok egy adott fúrási művelet fontos része. A fúrási művelet célja az, hogy egy vagy több kútból és/vagy kutakból hatékonyan kinyerhető nyersanyagot (olajat és/vagy gázt, illetve vizet), vagy hőt termelhessünk. Ennek eléréséhez a teljes fúrási program alatt, előre megtervezett, és megfelelően beállított fúrási iszapokra (öblítő közegre) van szükség. A fúrási iszapok olyan fizikai – kémiai és reológiai anyag, amelyek a gyakorlatban döntően folyadékfázisúak. Azonban az öblítőközeg lehet egyfázisú [1] gáz vagy folyadék, valamint kétfázisú gáz és folyadék vagy esetleg szilárd anyag valamilyen arányú keveréke. A fúrási iszap számos feltételnek kell, egyidejűleg megfeleljen, úgy hogy azok lehetséges összefüggéseit és kölcsönhatásait is figyelembe kell venni. Mivel minden feltételnek meg kell, hogy feleljen, így sorrend nem állítható fel az alábbi szempontok között. Az öblítőfolyadék halmazállapotától függetlenül a feladatai a következők.

Elsődleges feladatok:

- Támassza meg a lyukfalat, ezzel kellő ellennyomást biztosít a rétegnyomás ellen.
- A furadék felszínre szállítása.
- A fúrófej hűtése és a rudazat kenése.

- A szénhidrogén tároló rétegek védelmének biztosítása, illetve a rétegkárosító hatás minimalizálása.
- Szükséges iszaplepleny kiképzése a lyukfalon.
- Differenciális megszorulás esélyének csökkentése.
- Korrózióvédő hatás elérése.
- Környezetre gyakorolt hatásuk minimalizálása.
- Gazdaságossági és költség hatékonysági feltételek

A felsorolt elsődleges feladatokon túl törekedni kell arra, hogy az adott fúrási folyadék mindezekon felül biztosítani tudja a másodlagos feladatait is, úgy mint:

- Folyadék veszteség megakadályozása, illetve csökkentése.
- Kimosódások, lyuk bővületek megakadályozása (mérettartó lyuk biztosítása).
- A furadék szétesés megakadályozása.
- Nagy fúrási sebesség biztosítása.
- Megfelelő iszaplepleny minőség biztosítását, amely csökkenti a súrlódó erőket.
- Lyukbefejezés és/vagy a cementezés elősegítése.

Tehát általánosan elmondható hogy a fúrási folyadékok alapvető hatással vannak a kút műszaki biztonságára, ezzel nagymértékben befolyásolja a fúrási költségeket, és a kút termelőképességét. Mindezek alapján az öblítő közeg átgondolt és gondos kell hogy legyen. Ez úgy érthető el, hogy törekedni kell arra, hogy az elérhető legjobb technológia kerüljön alkalmazásra. Ez pedig már a tervezési fázisban, mint célkitűzés kell hogy szerepeljen, ugyanis csak akkor lehet elérni, hogy a fúrási hatékonyság és gazdaságosság mellett a környezeti kockázat minimálisra mérséklődjön. Mindezek mellett a biztonságos munkavégzéshez szükséges eszközöket és felszereléseket alapfeltételként kell biztosítani. Ehhez az elérhető - vagy a megrendelő által megfizethető - legjobb rendszerek és a legjobb minőségű anyagok kiválasztása szükséges. Ahhoz hogy a megfelelő iszap álljon rendelkezésre az adott fúrásponton, a szükséges folyadék tulajdonságokat kell először rögzíteni.

Az öblítő közeg főbb tulajdonságai:

- Vízleadás
- Sűrűség
- Reológia
- Alkalinitás
- Szilárdanyag tartalom
- Klorid tartalom.

2. A FÚRÁSI ISZAPOK ALKALMAZÁSI HATÁRAI

Az egyre mélyülő kutak esetén egyre nagyobb kihívást jelent a hőstabilitás biztosítása a fúrási-, és kútmunkálati folyadékoknál. A várható réteghőmérséklet alapján olyan alapanyagok és adalékanyagok alkalmazását kell megtervezni, amely képes a hőstabilitást biztosítani. Az iszaphoz kapcsolódó felszíni rendszernél is figyelembe kell venni a becsült maximum hőmérsékletet. Ez a hőmérséklet maximum a kifolyónál mérhető. A hőmérsékletre való tervezés kritériuma, hogy a folyadéknak rendelkeznie kell tartalékkal a hőstabilitás tekintetében. Széles körben elterjedt az a nézet, hogy a kutató fúrásnál magasabb hőtartalékot

kell biztosítani, mint feltáró fúrásnál. Különböző iszapok más és más hőmérsékletig alkalmazható:

Agyag iszap: Kis hőmérsékletig jól alkalmazható: $H_{\max} = 80\text{ °C}$. Polimerrel, mint stabilizáló adalékkal $120\text{--}125\text{ °C}$ -ig használható. Magasabb hőmérsékleten a szintetikus polimer és keményítő adalék biztosítja a hőtűrést.

Kalcium (Ca^{++}) bázisú iszap: 150 °C felett is hőtűrő ha mészhidráttal és szintetikus adalékkal kezelt.

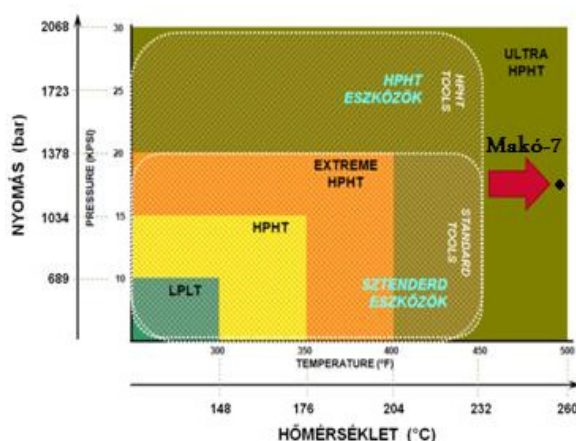
Kationos Polimer rendszerek: hőmérsékleti (alkalmazási) korlátja $130\text{--}135\text{ °C}$, $1,3\text{ kg/l}$ maximum sűrűség mellett.

Telített sós vizes iszap: magnézium-oxiddal (MgO), szintetikus polimerrel, és xantánnal adalékolva 160 °C -ig hőtűrő, azonban ha a sűrűség $1,4\text{ kg/l}$ meghaladó, akkor a tartós hőmérséklet hatására a nehezítő anyag kiülepszik.

Formiát polimer iszap: ennek a típusú folyadéknak sóoldatok az alapfolyadék, ami általában nátrium-formiát (NaCOOH), és/vagy kálium-formiát (KCOOH). Xantán, keményítő, és mészköliszt hozzáadásával 165 °C -ig hőtűrő. További nagy előnye hogy tárolóréteg kímélő folyadék, és az hogy a szűrőréteg (iszaplepeny) könnyen eltávolítható savoldhatóságának köszönhetően. Ritkán használatos a cézium-formiát (CsCOOH), amely rendkívül költséges, de a többi formiát összes előnyével rendelkezik, és a maximális sűrűség $2,3\text{ kg/l}$!

2.1. Nagy nyomású, és magas hőmérsékletű kútviszonyok

Jól érzékelhető, hogy a magas hőmérsékletre, és a nagy nyomásra is alkalmas folyadékok száma igen kevés, és csak nagyon költséges formában érhető(ek) el. Az olajipar különbséget tesz alacsony nyomású, és hőmérsékletű (LPLT – Low Pressure, Low Temperature) valamint, nagy nyomású, és magas hőmérsékletű (HPHT – High Pressure, High Temperature) kútviszonyok között, a 3. ábra szerint. Az előbbinél a nyomás maximum: 689 bar (10.000 psi), és a hőmérséklet maximum: 148 °C (300 °F). Magyarország legmélyebb pontja a 2006 - ban mélyült Makó#7 – es kút, ami 6086 m mély, és a lyuktalpi viszonyok tekintetében a nyomás 1300 bar , és a hőmérséklet 262 °C . Ezekkel az értékekkel világviszonylatban is ritka UHPHT kategóriába esik.

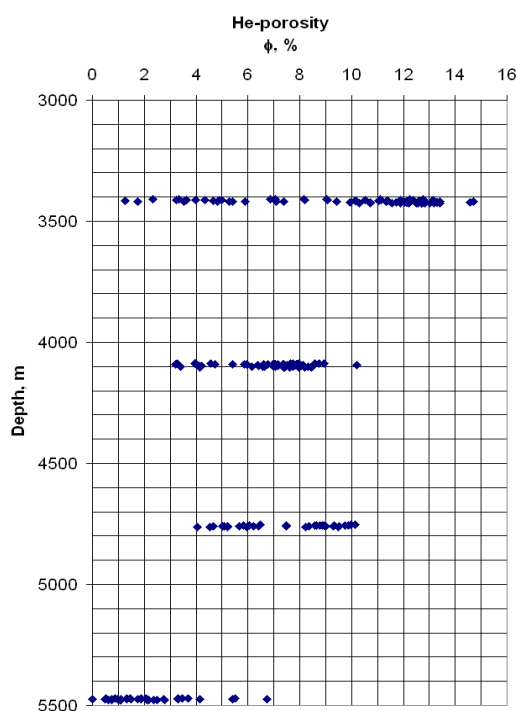


3. ábra HPHT állapotok
(forrás: SPE/IADC 148575)

Elmondható, hogy a magyarországi HPHT kútviszonyok a nem-hagyományos szénhidrogén tárolókban biztosan jelen vannak, melyek mélyfúrással érhetőek el. Azért fontos ezt kiemelni mert a hazai CH kutatás potenciálisan csak ezekben a tárolókban képzelhető el. Alapvetően két tároló jellemzőt használnak a nem-hagyományos szénhidrogén tárolók „határértékeit” illetően, úgymint a porozitás ($\Phi < 15\%$), és az áteresztőképesség ($k < 0,01$ mDarcy). Nem-hagyományos a tároló (unconventional reservoir), ha ezek az értékek együttesen teljesülnek.

2.1.1. Tárolókőzetek porozitása

A porozitás azt mutatja meg, mekkora a közettömegben lévő pórustérfogat, de úgy is mondhatnánk, hogy az alkotó ásványok, szemcsék közötti tér, melyben a szénhidrogén, vagy bármely más folyadék, vagy gáz helyet tud foglalni. A porozitás mértékét a kőzet teljes térfogatához képest százalékos alakban, vagy tizedes törtben határozzák meg, ami egyfajta tárolókapacitásról ad információt. A 5. ábrán a magmintákon mért porozitás értékek láthatóak a mélység függvényében. Jól látható, hogy 3400 méteres mélységben a porozitás eléri a 14,5 % - os értéket, viszont 5500 méteres mélységben a maximum érték 7,4 %, de ebben a mélységben mért átlag porozitás 2% körül van. Tehát a mélyebben található kőzetek egyre tömöttebbek. Az alacsony porozitás érték semmiképpen sem előnyös tárolótulajdonság, azonban a porozitás magas értéke sem biztos hogy elegendő, ugyanis csak a pórusok közötti utak, révén (effektív porozitás) biztosítható a migráció, melyet a permeabilitás jellemez.



5. ábra A Makó#7 jelű fúrás magmintákon mért porozitás értékei

(forrás: Bódi T.: A Makói árok kőzeteinek pertofizikai tulajdonságai a nem konvencionális szénhidrogén termelés tükrében, MTA Szerves Geokémiai Albizottság „Szénhidrogének a Makói árokban” Budapest 2008.)

2.1.2. Tárolókőzetek áteresztőképessége

Áteresztőképesség (permeabilitás): A tárolókőzetek folyadékvezető-képessége annak az ellenállásnak a reciprok értékét jelenti, melyet a porózus közeg a folyadékáramlással szemben

tanúsít. [6] Mértékegysége: 1 Darcy = 1 D = 1000 mD és jele: k . Tehát 1cm^2 keresztmetszeten, 1 cm hosszú úton, 1 atm nyomáskülönbség mellett, 1 centipoise viszkozitású folyadékból, 1 sec idő alatt, 1cm^3 térfogat áramlik át.

$$q = \frac{kA}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$

ahol:

- q – átáramló folyadékáram [cm^3/s];
- k – áttersztőképesség [D];
- μ – viszkozitás [cP];
- L – magminta hossza [mm];
- A – magminta átmérője [mm];
- Δp – nyomáskülönbség [atm.].

Az egyenletet k -ra, rendezve kapjuk a folyadék áttersztőképesség összefüggését:

$$k = \frac{q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta p} = B \frac{q}{\Delta p}$$

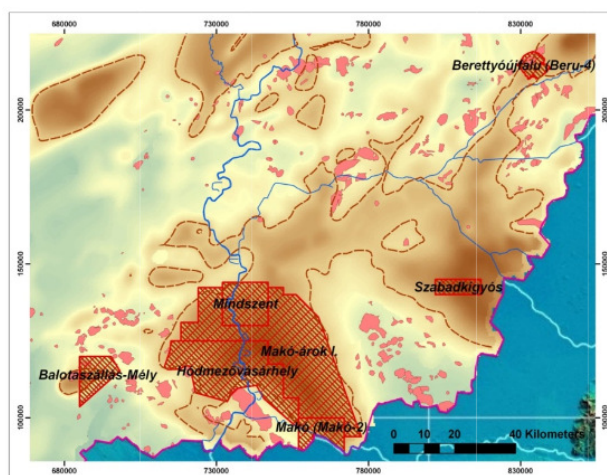
A nem hagyományos előfordulások esetén a kőzetek alacsony permeabilitással és porozitással rendelkeznek, mely a migrációt gátolja.

Azonban a nem-hagyományos jelző, nemcsak a tároló formáció jelölésére szolgál, hanem jellemzi a nem-konvencionális CH előfordulások feltárásának, kutatásának, rétegvizsgálatának, és majdani termelésbe állításának megközelítési módját is. Az ilyen magyarországi tárolók kiaknázási lehetőségeit nehezíti az alkalmazandó bonyolultabb folyadékrendszerek, nagy szilárdságú kitémasztó-anyagokat, speciális kútkiképzési eszközök, melyeket a limitált információszerzési, perforálási és repesztés diagnosztikai lehetőségek tovább nehezítenek és drágítanak.

3. NEM-HAGYOMÁNYOS SZÉNHIDROGÉNEK

Ha Magyarországon jelentős mennyiségű szénhidrogén vagyon a nem-hagyományos tárolókban van. Ezek előfordulásai: a Nagyalföld déli részén, a Makói-árokban, a Békési-medencében illetve a Derecskei-árokban van (5. ábra szerint)

Ezekben a nagy nyomású, és magas hőmérsékletű tárolókban jellemzően palagáz (shale gas), és a tömött kőzetek olaja/gáza (tight oil/gas) található. A tightgas hagyományos körülmények között lerakódott gázelőfordulás, ami a homokkő rossz kőzetfizikai tulajdonságai miatt nem képes megfelelően mozogni. Bár földtani értelemben ez nem számít nem-hagyományos előfordulásnak, mert a homokkő nem szénhidrogén anyakőzet, de a szükséges kitermelési technológia miatt sok esetben mégis a nem hagyományos előfordulások közé sorolják ezeket a gázt tároló képződményeket. A palagáz egy szintén alacsony pórustérfogattal, és rossz áttersztőképességgel rendelkező, agyagos, és márgás kőzetekben előforduló földgáz, ahol a szénhidrogén az anyakőzetben marad, mert olyan alacsony áttersztőképességgel rendelkezik, hogy a migráció nem jön létre. Tehát az anyakőzet a tárolókőzet. Ezen előfordulásokra jellemző, hogy a csapdaszerkezet hiányában nagyobb kiterjedésűek, mint a hagyományos tárolók. Mivel a csapdázódás nem jön létre, így akkumlálódás sincs, ezért egy elegyként tekinthető a víz, az olaj, és a gáz.



5. ábra A magyarországi nem-hagyományos szénhidrogén előfordulások
(forrás: dr. Fasncsik Tamás, MFGI, Figyelő Konferencia, 2014)

3.1. A magyarországi nyilvántartott nem-hagyományos szénhidrogénvagyon

A Magyar Bányászati és Földtani Hivatal által vezetett ásványi nyersanyagvagyon adatait a 1. Táblázat mutatja.

1. Táblázat Magyarország ásványi nyersanyagvagyon 2015.-ben
(forrás: mbfh.hu)

Nyersanyag	Termelés		Földtani vagyon 2015.		Kitermelhető vagyon 2015.	
	Mm3	kt	Mm3	kt	Mm3	kt
Kőolaj						
Hagyományos		616,06		232 397,38		21 545,07
Nem hagyományos		0,01		418 946,54		45 642,96
Földgáz						
Hagyományos	1 943,11		185 474,96		73 778,15	
Nem hagyományos	3,17		3 923 342,47		1 565 353,81	

A táblázat értelmezéséhez a földtani vagyon, és kitermelhető vagyon közti különbséget kell meghatározni.

Földtani vagyon: az ásványi nyersanyag kutatási adatokkal igazolt teljes mennyisége, amely az ásványi nyersanyagra jellemző paraméterek (számbavételi kondíciók) alapján műszaki és gazdasági korlátok alkalmazása nélkül számításokkal megállapítható (A földtani vagyon mérésére gyakran nem a vizsgált anyag tömegét (t, kg), hanem annak energiatartalmát adják meg (J, Wh, toe). (Dr. Kajati György (2011))

Kitermelhető vagyon: a földtani vagyonnak végleges pillérben lekötött vagyonnal és az ásványi nyersanyag sajátosságait tükröző kitermelési technológia függvényében előálló veszteséggel csökkentett, a szilárd energiahordozó és fémhordozó nyersanyagok esetében termelési hígulással növelt része, amely műszakilag kitermelhető. [...] Szénhidrogéneknek a földtani vagyon és a kihozatali tényező szorzata. (Dr. Kajati György (2011))

Ezek alapján jól látszik, hogy olaj esetén a kitermelhető vagyon nem-hagyományos tárolókból több mint kétszeres, a hagyományos előfordulású vagyonhoz képest. Földgáz esetén ez több mint huszonegyszeres! A hazai termelésből viszont csak 0,16% származott 2015-ben a nem hagyományos előfordulásokból, ami a hazai éves felhasználás körülbelül 184-szerese!

Kijelenthető, hogy a nem hagyományos szénhidrogén előfordulások nagy mennyiségben állnak rendelkezésre, melyek csökkenteni képesek az ország energia-függőségét. Az import részarány kőolajnál 93,2%, földgáznál 69,7% (www.ksh.hu).

ÖSSZEFOGLALÁS

A fúrási iszapoknak fontos szerepe van a mélyfúrásoknál a megvalósíthatóság szempontjából. Természetesen egy kút megtervezése, kiépítése/kivitelezése, és integritásvizsgálata is biztosítja az épségét. A rétegszennyeződés kialakulása és terjedés-kockázata elsősorban a kút nem megfelelő kiképzése jelentheti, amely a nem megfelelő fúrási folyadék használatából adódik. A rétegek izolálására bélés-és termelőcső rakatok, illetve azokba beépített tömítő eszközök szolgálnak, azonban a kút fúrása közben az iszaplepeny látja el ezt a feladatot, amely kiszűrődéssel alakul ki a nyitott lyukszakasz falán. Így tehát szükséges a kellő mennyiségű iszap filtrációja. Ha figyelembe vesszük, hogy a jövőben is egyre mélyülő kutakra lesz szükség, akkor növekvő hőmérséklet-tűrésű öblítő közegek használata lesz szükséges. Az ilyen folyadékok köre egyelőre nagyon szűk, és rendkívül költséges is. Ezen szempontok alapján a fúrási folyadékok magas hőmérséklet viszonyokra való használatának vizsgálata lesz a kutatásom főbb iránya.

A magas hőmérsékletű és nagy nyomású (HPHT) szénhidrogén tárolók Magyarországon is vannak, amely a primer energia függőségünket tudná jelentősebben csökkenteni. A világ energiaszükséglete a következő harminc évben akár 60%-al is magasabb lehet, ezért a HPHT kútviszonyokhoz gyakran igazodó nem-hagyományos tárolók további kutatása elkerülhetetlen lesz világszerte.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZABÓ TIBOR (2012)**, *Az Aphron bázisú öblítő közeg alkalmazása a geotermikus fúrásokhoz*
- [2] **DR KAJATI GYÖRGY**, *A természeti erőforrások gazdaságtana* <http://www.tankonyvtar.hu/hu0>
- [3] **MOL GROUP**, *Nem hagyományos kutatás mint organikus növekedés egy módja az Upstream-ben*
- [4] **KISS KÁROLY**, *Nem hagyományos szénhidrogének kutatása*
- [5] **KISS KÁROLY**, *Nem konvencionális szénhidrogének helyzete a világban és hazánkban*
- [6] **KISS BERTALAN, SZABÓ ISTVÁN, TÓTH JÓZSEF, VARGÁNÉ TÓTH ILONA**, *A tároló kiértékelés kihívásai, különös tekintettel a nem hagyományos szénhidrogén tárolók jellemzésére*
- [7] *Magyar palagáz csak a távoli jövő?* <http://www.mernokbazis.hu/cikkek/magyar-palag%C3%A1z-csak-a-t%C3%A1voli-j%C3%B6v%C5%91ben>
- [8] **JOBBIK, A. (2014)**, *Nem konvencionális szénhidrogén tárolók bányászati potenciálvizsgálata*. Kézirat, MFBGA
- [9] **JOBBIK, A.**, *A makói BCGA előfordulás kitermelhetőségének megítélése - fúrástechnológiai és rezervoármérnöki szempontokból*

- [10] **ALLIQANDER ÖDÖN (1968)**, *Rotari fúrás*
- [11] **MI SWACO (2004)**, *Drilling Fluid Manual*
- [12] **ABDOLLAH ESMAEILI (2009)**, *Applications of Nanotechnology in oil and gas industry*
- [13] **HUSSAIN RABIA**, *Well Engineering and Construction*
- [14] **LARRY W. LAKE (2007)**, *Petroleum Engineering Handbook*

0,1 M/PIXEL FELBONTÁSÚ ORTOFOTÓ PONTOSSÁGVIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ FELBONTÁSÚ DDM-EK ALAPJÁN

STUDYING THE ACCURACY OF ORTHOPHOTO WITH RESOLUTION 0,1 M/PIXEL BASED ON VARIOUS ELEVATION MODELS

VARGA Zsolt¹, CZÉDLI Herta²

¹Ph.D., adjunktus, vzs@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Építőmérnöki Tanszék,
H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

²PhD, docens, herta.czedli@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Építőmérnöki Tanszék,
H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

Kivonat: Az ortofotók elemzése során, egyrészt a felvételek tájékozási adatai, valamint az alkalmazott domborzat modellek pontosságaiból adódóan, másrészt az ortofotók terepi tartalmától függően eltérő pontosságú adatok nyerhetők. A pontossági értékeket befolyásoló tényezők közül, vizsgálatunkban a különböző domborzatmodellek alkalmazásaiból eredő eltéréseket vizsgáltuk egy nyíregyházi mintaterületen. Vizsgálatunk célja az ortofotókról digitalizált referencia pontok, illetve a geodéziai módszerrel felmért pontok koordinátái közötti eltérések nagyságának meghatározása volt, különböző felbontású és pontosságú domborzatmodellek alkalmazása esetén.

Kulcsszavak: pontosság, ortofotó, Digitális Domborzat Modell, GRID, Leica GS 15.

Abstract: Depending on the orientation data, the accuracy of the applied terrain models and the field content of the orthophotos data of different accuracy can be obtained in the course of analysing orthophotos. Considering the factors influencing accuracy, differences resulted by the application of different elevation models are studied in this paper in one study areas in Nyíregyháza. Primary aim of this study is to determine the magnitude of differences between the co-ordinates of reference points digitized from orthophotos and that of points measured by geodetic methods with the application of elevation models with various resolution and accuracy.

Keywords: accuracy, orthophoto, Digital Elevation Model, GRID, Leica GS 15.

1. BEVEZETÉS

A távérzékelés szerepe és jelentősége napjainkra felértékelődött és kiszélesedett, szinte nincs olyan terület melyet valamilyen módon ne érintene a fotogrammetriai úton létrehozott információk sokasága. Távérzékelés során úgy gyűjtünk adatokat tárgyakról, jelenségekről (többnyire a Föld felszínéről) hogy azokkal fizikai kapcsolatba nem kerülünk.

A távérzékelés termékeinek az alkalmazási területei is kiszélesedtek, így széles körben alkalmazzák a térképészetben (kataszteri munkáknál, térkép felújítások során, felszín, vegetáció, talaj, élőhely és földhasználati térképek készítésére), használja továbbá a mezőgazdaság, környezetvédelem a meteorológia, a hadsereg, rendőrség stb.

A felvételeket csoportosíthatjuk az érzékelés magassága szerint, ekkor földi, légi és űr távérzékelésről beszélünk. A vizsgálat során kizárólag légi távérzékeléssel készített ortofotók kerültek elemzésre.

Egy terület ortofotóját fotogrammetriai eljárásokkal állítják elő, a terep felszínéről készített légifényképek alapján [3].

Az ortofotók elemzése során, a méretarányukból, a felbontásukból adódóan eltérő pontosságú adatok nyerhetők. A távérzékelési adatok kiértékelésének lehetőségei nagymértékben függenek a felbontástól és vizsgált adattartalom típusától.

Az ortofotók interpretációja továbbá tévedések, hibák lehetőségeit is magukban hordozzák. A kiértékelés minősége jelentősen függ a kiértékelést végző személy gyakorlatától, szaktudásától.

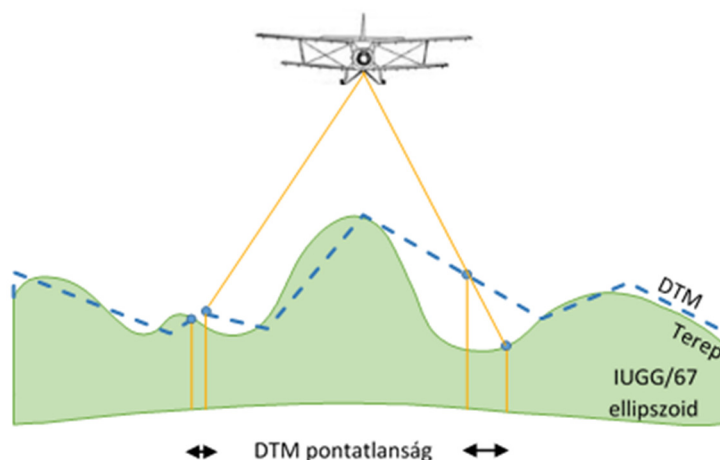
Ezen túlmenően, problémát okozhat az adott feladathoz szükséges „optimális” ortofotó kiválasztása, hiszen bizonyos munkákhoz elegendő lehet egy kis felbontással rendelkező felvétel, míg más esetben egy nagyfelbontású ortofotó sem biztosítja feltétlenül az előírt pontossági követelményeket. Ahhoz, hogy el tudjunk igazodni a forgalmazók által kínált termékek között, a felbontáson túl ismernünk kell az ortofotók pontosságát és megbízhatóságát egyaránt.

Miért ortofotók?

Egyrészt azért mert ugyan geodéziában a földi eljárással végzett terepi felmérés a legpontosabb, de ez egyben a legdrágább módszer is, annak személyi igénye és időtartalma miatt. A technikai fejlődés révén lehetővé vált a polgári és katonai térképeszet számára egyaránt, hogy feladatait gyorsan, aránylag olcsón meg tudja valósítani a távérzékelés útján nyert felvételek felhasználásával. Alkalmazásuk a 2000-es évektől általánossá vált, ma már tömegtermékek. Másrészt a kérdésfelvetés azért is különösen aktuális mert a FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet) a Magyarország területéről készült 10 éves és annál régebben készült ortofotók elérhetőségét ingyenessé tette, így ezek a termékek mára mindenki számára díjmentesen elérhetők. Ezen 2000 évtől készült ortofotók felbontása 0,4 - 0,5m/pixel. Néhány európai országban már 0,4 - 0,5m/pixel felbontástól nagyobb felbontású felvételek is rendelkezésre állnak. Így például Szlovákiában már 20 centiméteres, Hollandiában pedig már 10 cm-es ortofotók fedik le az egész ország területét. Az egyes állami és magán vállalkozások által kínált ortofotók felbontása ma már eléri a 3-5 cm-t, de ezeket többnyire helyi megrendelésekre, kis területekről és nem teljes országokról készülnek.

Magyarországon 1991-től készülnek digitális ortofotók 0,5 méter/pixel maximális felbontásig. 1996-ban a világon először Magyarországon készült nagy felbontású (30 cm/pixel) ortofotó Hunya, Bucsá, Ecsefalva és Székesfehérvár területeiről.

De mire is van szükség a digitális ortofotó előállításához? Mindenekelőtt digitális felvételre, a felvételek abszolút tájékozási elemeire, domborzat modellre valamint olyan szoftverre, ami elvégzi a képek pixelenkénti orto-transzformálását. Azaz a pixeleket „ráhelyezi” a domborzatmodellre (ezáltal minimalizálja a domborzattorzító hatását), majd több felvételből előállítja magát az ortofotót (mozaikolja) és végrehatja a színkiegyenlítést. A vizsgálataink során kizárólag a domborzatmodellek torzító hatásaival foglalkozunk, ugyanis a vízszintes koordináták pontosságát a magasságkülönbségek befolyásolják leginkább. (1. ábra)



1. ábra. A magasságkülönbségek okozta torzítások.

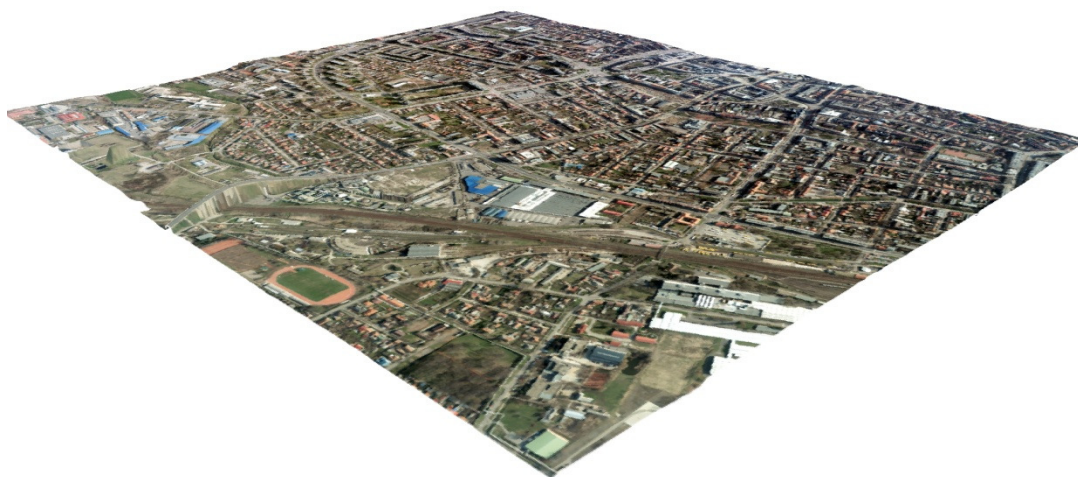
Ebből adódóan ortofotók geometriailag csak a domborzat modellek szintjén értékelhetők, függőleges felületekről nem adnak információt, 3D modellezésben nem használhatók, csak azon pontok digitalizálása ad megfelelő eredményt, melyek a talajszinten helyezkednek el.

A true ortofotó megoldást nyújt a perspektív torzulások kiküszöbölésére is, de ehhez a terület domborzat modelljén kívül szükség van a tereptárgyak (pl. épületek) 3D modelljére is. Az előállítása nagyon drága.

A topográfiai felszínek általában összetett formák így azok nem írhatók le egyszerű matematikai alakzatokkal [2]. Ezért a terepfelszínből mintát veszünk és csak a kiválasztott pontok koordinátáit határozzuk meg a modellben [4]. Tehát a digitális domborzatmodell alapvetően egy olyan adatbázis, amely egy terület bizonyos pontjainak X, Y, Z térbeli koordinátáit tartalmazza. Ennek eredményeképpen síkterületeken adattöbblet jöhet létre (jóval több magassággal rendelkező pont mint amennyi a terep egyértelmű meghatározásához szükséges), míg a változatosabb térszínek esetén a felbontás gátat szabhat a domborzat pontos megjelenítésének, ami az adathiányból fakad és a vízszintes koordináták torzulásaihoz vezet. Ezt radiális képtorzulásnak nevezzük, ami a terep magasságkülönbségeinek egy referencia síkhoz (képsíkhoz) viszonyított helyzetéből adódik. A domborzattorzító hatását digitális domborzatmodell segítségével tudjuk csak csökkenteni. A hibák csökkentése akkor a legsikeresebb, ha olyan modellt alkalmazunk melynek a felbontása és pontossága nagy, így jól simul a terepfelszínhez. Sajnos ilyen modellek nem minden esetben állnak a rendelkezésünkre, így célszerű megvizsgálni azt, hogy a különböző modellek milyen mértékben befolyásolják az ortofotókról meghatározható vízszintes koordináták értékeit.

Sokan gondolják úgy (tévesen), hogy egy 0,1m/pixel felbontású ortofotóról 10 cm, míg egy 0,5 m /pixel felbontású ortofotóról 50 cm pontossággal lehet adatokat nyerni. Ez nem igaz, ugyanis a pontosságra sok tényező van hatással.

A vizsgálatunk arra keresi a választ, hogy különböző domborzatmodellek milyen mértékben befolyásolják az ortofotók pontosságát. A vizsgált terület Nyíregyháza belterületének nagyvárosias-ipari övezetében helyezkedik el, a kép Ny-i oldalán a tiszavasvári úti felüljáró látható (2. ábra).



2. ábra. A nyíregyházi kutatási terület elhelyezkedése.

2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A digitális domborzatmodellek különböző technológiákkal készülhetnek, így adattartalmuk, és a vízszintes koordinátákra gyakorolt torzító hatásuk is eltérő [1]. Vizsgálataink során felhasználtunk szintvonalas térkép digitalizálásából származó modellt, sztereo-fotogrammetriai kiértékelésből származó modellt, mindkettő adatszerkezete szabályos rácsháló (GRID).

Az egyik domborzatmodell az EOVS (Egységes Országos Vetület) rendszerű, balti magassági alapszintű DDM-10. A domborzatmodell az 1: 50 000 méretarányú Gauss-Krüger vetületi rendszerű katonai topográfiai térkép szintvonalak digitalizálásából lett levezetve 10x10 méteres vízszintes felbontásban. A másik alkalmazott domborzatmodell létrehozása sztereo-fotogrammetriai kiértékeléssel történt, a légifényképezéssel előállított sztereo-képpárok alapján. A domborzatmodell 3x3 méteres szintén rácshálóban mért pontmezőből áll. Az alkalmazott 3x3 m és 10x10m-es felbontású domborzatmodellek torzító hatásait úgy vizsgáltuk, hogy ellenőrző pontokat mértünk (Y; X;) koordinátákkal az ortofotón és a terepen egyaránt. Először a képen jelöltük ki a terepen felkeresendő (megmérendő) pontokat, melyek vektorizálását 1:100-as méretarányban végeztük. Ez azért volt előnyös, mert ennél a méretaránynál a kép pixelesedése még nem volt zavaró, a kép nem esett szét (3. ábra).



3. ábra. Vektorizálás különböző méretarányokban.

A digitalizált adatok alapján a pontok terepi felkeresését és azok koordináta mérését hálózatalapú RTK technológiát alkalmazva, statikus mérési módszerrel, Leica GS 15 GPS-el hajtottuk végre. A meghatározásokat követően statisztikai számítások alkalmazásával összehasonlítottuk a térképi és a terepi értékeket.

3. EREDMÉNYEK

A műholdas helymeghatározás méréseit legkevesebb 15 perc elteltével, új inicializálás mellett minden ponton megismételtük. Az ellenőrzés során adódó maximális eltérés 20 mm-re adódott, így további ellenőrzéseket nem végeztünk, hiszen ez az érték a vizsgálat eredményét érdemben nem befolyásolja. A vektorizálás pontosságát szintén annak ismétlésével ellenőriztük. Az eredmények varianciaanalízise után kimutattuk, hogy a pontok többszöri

digitalizálása szignifikáns eltérést nem eredményez, tehát a vizsgálatot nem befolyásolja. Ezek után a pontokat I és II osztályokba soroltuk. A I osztályba a jól azonosítható mesterséges tereptárgyak sarkai, centrumai kerültek (4. ábra), míg a II osztályba azokat a pontokat soroltuk, melyek a képen életlenül képződtek le, de a valóságban jól azonosíthatóak voltak.



4. ábra. I. rendű (112-es) referencia pont terepi meghatározása.

A továbbiakban osztályonként és modellenként számítottuk a várható értékeket, valamint a modellek átlagos eltéréseit (1. táblázat).

1. Táblázat A modellek átlagos eltérései

Nyíregyháza			
Modell	Pontok rendűsége	Várható értékek (cm)	Modellek átlagos eltérései (cm)
DSZM 10x10m	I.	24	27
	II.	29	
Fotogrammetriai DTM 3x3 m	I.	6	7
	II.	8	

A különböző modellek átlagos eltérései alapján megállapítható, hogy a vizsgált 10 cm /pixel felbontású ortofotók pontossága digitális szintvonalmodell alkalmazása esetén 25 centiméteres értéket mutat, ami a pixel méret többszöröse. Fotogrammetriai kiértékelésből származó modell esetén ez az érték már nem éri el a felbontás mértékét, mindössze 7 cm.

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgáltuk, hogy milyen eltérések adódnak ortofotókról meghatározott digitalizált pontok és geodéziai módszerrel meghatározott alappontok között különböző terepmodellek alkalmazása esetén. Az elemzést megelőzően, mind a térképi vektorizálás és mind felmérési módszer

pontosságát is ellenőriztük, melynek eredményeképpen megállapítottuk, hogy az alkalmazott módszerek egyike sem befolyásolja érdemben a vizsgálat eredményét.

A 0,1 m/pixel felbontású ortofotók várható vízszintes pontossága 1:50000 méretarányú topográfiai térkép szintvonalalaiból generált 10x10 méteres GRID adatszerkezetű domborzatmodell esetében 25 cm, fotogrammetriai meghatározással készült 0,1 m/pixel felbontású légifelvételekből előállított 3x3 méteres GRID esetén 7 cm-re adódott. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a tévhittel ellentétben az ortofotók pontossága nem azonosítható azok felbontásával.

Ahhoz, hogy az előbbi átlagos értékek biztosíthatók legyenek elengedhetetlen a domborzatmodellek durva hibáinak utólagos kiértékeléssel való kiszűrése és a modellek kiegészítése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BALTSAVIAS, E., KÄSER, C.:** *DTM and orthoimage generation – A thorough analysis and comparison of four digital photogrammetric systems.* D. Fritsch, M. English and M. Sester, eds, 'IAPRS', Vol. 32/4, ISPRS Commission IV Symposium on GIS – Between Visions and Applications, Stuttgart, Germany, 2007. pp. 1-10.
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/commIV/baltsavias202neu.pdf>
- [2] **CONGALTON, R. G.:** *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data.* Remote Sensing of Environment, Volume 37, Issue 1, July 1991, Pages 35–46.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579190048B>
- [3] **FORKUO, E. K., DORDAH, G. A.:** *The effects of production steps on accuracy of digital Orthoimages.* Journal of Geomatics, Vol 5 No.1 April 2011. pp. 1-9.
http://www.researchgate.net/profile/Eric_Forkuo/publication/269222576_The_effects_of_production_steps_on_accuracy_of_digital_Orthoimages/links/5484c41f0cf283750c370a2b.pdf
- [4] **TELBISZ TAMÁS, SZÉKELY BALÁZS, TÍMÁR GÁBOR:** *Digitális Terepmodellek - Adat, látvány, elemzés.* ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet Természetföldrajzi Tanszék 2013. ISBN 978-963-284-372-8, pp. 5-80.
<http://mek.oszk.hu/12000/12042/12042.pdf>

HORMONRENDSZERT BEFOLYÁSOLÓ ANYAG (EDC) ÁTSZIVÁRGÁSÁNAK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TALAJMINTÁKON

LABORATORY TESTS OF ENDOCRINE DISRUPTING CHEMICALS (EDC) ON DIFFERENT SOIL SAMPLES

ZÁKÁNYI Balázs¹, SZÉKELY István², ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta³

¹egyetemi adjunktus, hgzb@uni-miskolc.hu

¹Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem

²PhD hallgató, szekely880411@gmail.com

²Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem

³EHS vezető, zakanyine@gmail.com

³Tanszék neve, TS Hungária Kft. Miskolc Kandó Kálmán Tér 1.

Kivonat: Annak érdekében, hogy a vizsgálatainkat megtervezzük és az ECD (endocrine disrupting chemicals) anyagokról megfelelő ismerettel rendelkezünk, a koffeinről gyűjtöttünk mind a hazai és a külföldi szakirodalomból ismeretanyagot. A tanulmány második részében ismertetjük az elvégzett mérések menetét és azok eredményeit. A méréseket három talajmintán végeztük. Meghatároztuk mindhárom mintatest szivárgási tényezőjét flexibilis falú permeabiméterrel, majd ezt követően azonos koncentrációjú koffein oldatokat szivárogtattunk át a mintatesteken. Az átszivárgott oldatok koffein koncentrációját HPCL-s vizsgálatok segítségével detektáltuk. A mérési eredmények igazolták, hogy az általunk kiválasztott három különböző talajminta rendelkezik koffein visszatartó képességgel, továbbá megerősítették, hogy az alkalmazott mérési elrendezés és műszeres analitikai vizsgálat jól alkalmazható ECD anyagok ilyen célú laboratóriumi transzportfolyamatainak a nyomon követésére, modellezésére.

Kulcsszavak: speciális szennyezőanyagok, EDC, koffein

Abstract: In order to plan laboratory examinations and acquire enough knowledge about ECD (endocrine disrupting chemicals) materials, we collected different contributions both in Hungarian and international literature. This knowledge is introduced in our work, particularly applied for caffeine. In the second part of our work the process of measurements and the results were discussed. We specified the hydraulic conductivity of the samples with flexible-walled permeameter, and then equal caffeinated solutions were leaked through the specimens. The caffeine concentrations of the leaked solutions were detected with HPLC. The results confirmed that the selected 3 different soil samples have a caffeine holding capability and the applied measuring arrangement and analytic examination is suitable for modeling transport processes of ECD materials.

Keywords: Special Contaminants, EDC, caffeine

1. BEVEZETŐ

Az 1930-as évektől kezdve fokozatosan került felfedezésre és megismerésre, hogy bizonyos mesterséges, valamint természetes vegyületek olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, melyek nagymértékben hasonlítanak az élőlények hormonrendszerében szerepet játszó anyagokhoz. Ezek a vegyületek befolyással lehetnek az emberi szervezet működésére olyan specifikus hatások által, mint például a hormonháztartás befolyásolása, illetve az immunrendszer károsodása. Napjainkban ezek az anyagok jelentős mennyiségben megtalálhatóak a különböző felszíni- és felszín alatti vizekben [1]. A fő problémát az jelenti, hogy ezek az EDC- típusú (Endocrine Disrupting Chemicals) szennyezőanyagok ugyan bizonyos mértékig

eltávolíthatók a hagyományos vízkezelési eljárások során, azonban 100%-os hatékonyságú módszer jelenleg nem ismert [2].

A hormonháztartást megzavaró anyagok káros hatásait felismerni bonyolult feladat, mert számos vegyi anyag okozhat EDC hatást. Több ezer olyan anyag létezik, amely jelenleg még bizonyítottan nem tartozik a hormonháztartást befolyásoló anyagok közé, azonban folyamatos kutatások eredményeképp a jövőben felkerülhetnek erre a listára. Felismerni és bizonyítani, hogy egy anyag az EDC anyagok közé tartozik azért nehéz feladat, mert egyes anyagok csak bizonyos fajokra hatnak, és sokszor csak bizonyos életkorban, valamint sokszor hatásuk csak több generáción keresztül jelentkezik [3].

Ezek a környezetkárosító anyagok újszerűnek tekinthetők, hiszen viselkedésüket, tulajdonságaikat nem ismerjük még annyira, mint sok más szennyező esetében. Eggyel több ok tehát arra, hogy minél hamarabb megismerjük az EDC anyagok közé tartozó vegyületek viselkedését. Még nem ismertek többek között ezen anyagok felszín alatti vízben, illetve földtani közegben végbemenő transzportfolyamatai, ennek felmérése azonban fontos, hiszen minél jobban meghatározzuk ezen tulajdonságokat, annál jobban tudjuk káros hatásait csökkenteni, esetleg megszüntetni.

A kutatásunk elkészítése során különböző áteresztőképességű és tulajdonságú agyagokon azonos koncentrációjú koffeines oldatok átáramoltatását hajtottuk végre flexibilis falú permeabiméter segítségével. A célunk, hogy meghatározzuk a vizsgált mintatestek adszorpciós kapacitását, ezáltal szennyezőanyag visszatartó képességüket. Méréseink során a mintatestekben átáramoltatott koffeiből mintát vettünk, amelyet HPLC segítségével elemeztünk és kapott eredményeinket a következő fejezetekben ismertetjük.

2. HORMONHÁZTARTÁST MEGZAVARÓ ANYAGOK

EDC anyagok= Endocrine Disrupting Chemicals, magyarul: hormonháztartást befolyásoló anyagok. Hormonháztartást megzavaró anyagoknak azokat az anyagokat nevezzük, amelyek megzavarják a szabályozásban és a növekedésben szerepet játszó természetes hormonok termelését, kibocsátását, transzportját, kötődését, reakcióját, vagy kiürülését [4]. Ezek az anyagok a receptorokhoz kötődve, többek között elősegítik a tumorok kialakulását, meddőséget okozhatnak, és csökkentik az immunrendszer ellenálló képességét [5].

Az EDC anyagokat két fő csoportra oszthatjuk: A természetes hormonok, ill. hormonszerű anyagok és az ember által előállított vegyületek.

Az EDC szennyezők észlelése és eltávolítása komoly gondot okoz a kutatóknak. Az eltávolítást illetően számos módszer került már kipróbálásra, azonban gazdasági, technológiai és/vagy hatékonysági szempontokból sok esetben problémák merültek fel. Ezek javítására, valamint az EDC anyagok jobb megismerése érdekében számos további kutatás lenne szükséges például az anyagtranszport, az analitikai detektálás, a lebomlási mechanizmusok, a különböző eltávolítási technikák és az anyagok toxikológiai hatásainak feltárása területén. További problémát jelent, hogy az aktív vegyületek több fajtájának egyidejű jelenléte miatt az általuk az emberi szervezetben kiváltott reakciók nem teljesen ismertek [6].

Ahhoz, hogy a gyakorlati életben is hasznosítható tapasztalatokat nyerhessünk, az anyagok megválasztásánál az alábbi szempontokat kellett figyelembe vennünk:

- a vizekben nagy gyakorisággal, ténylegesen fellelhető valódi problémát jelentő szennyezők legyenek;
- jól oldódjanak vízben;
- jól lehessen őket detektálni;
- modellezésre alkalmasak legyenek;
- a mérések elvégzése során a laboratóriumban dolgozókra ne jelentsenek veszélyt.

Koffein: A koffein szintén hormonháztartást megzavaró anyagok közé tartozik, és rendelkezik az előbbieken felsorolt tulajdonságokkal, ezért méréseink során ezzel az anyaggal végeztük a kísérletünket. Selyemfényű, fehér, tű alakú, kesernyés ízű, szagtalan kristályos anyag. A koffein a fő élénkítő hatóanyaga a kávéknak, teáknak, kakaónak és üdítőitaloknak. Az egyik legnépszerűbb drognak számító pszichoaktív anyag. Egyebek között a kávécsérjében található. Ennek magvaiban kb. 1,5% koffein van, a tea leveleiben 5%. Erős központi idegrendszeri hatással rendelkezik, elsősorban az agykéregre hat. Kis dózisban fokozza a szellemi aktivitást. Nagy adagban izgatja a légző- és a vazomotor központot. Analeptikus hatással is rendelkezik [7]. Alacsony koncentrációban csökkenti a perifériás ellenállást az agyi erek növekvő ellenállásával szemben. Az agyalapi vegetatív központok izgatása révén emeli a testhőmérsékletet, a mellékveséből adrenalint vesz el, hatására a veseerek tágulása miatt a vesében kis mértékben növeli a glomerulus filtrációt és csökkenti a nátrium tubuláris reabszorpcióját. Ezért fokozódik a vizelet kiválasztás, fokozza a gyomorban a sav- és pepszinszekréciót. A szíven közvetlen hatással növeli a szív frekvenciáját és a kontrakciók erejét [8].

Mivel ma már olyan termékek is tartalmaznak koffeint, amelyekről nem is gondolnánk, könnyen előfordulhat, hogy az ajánlott napi bevitelt túlhaladó mértékben juttatjuk azt a szervezetünkbe. Tulajdonképpen ez a legelterjedtebb pszichoaktív drog a világon. A Föld lakosságának közel 80 százaléka napi rendszerességgel fogyasztja, ezért is kerültek az egészségünkre gyakorolt hatásait vizsgáló kutatások előtérbe.

A koffein az elfogyasztást követő 30-45 percben éri el a vérkeringést (bejut a véráramba). Majd, ezt követően a test vízterein keresztül szétoszlik, és később lebomlik, és a vizelettel választódik ki. A koffein átlagos felezési ideje a testben 4 óra (a becslések 2-10 óra között változnak). A terhesség lelassítja a koffein lebomlási sebességét, és általában a terhes nők szervezetében a koffein hosszabban megmarad [9].

Nem olyan régen, egy a Marine Pollution Bulletin folyóiratban megjelent tanulmány szerint szokatlan szennyezőanyagra bukkantak a Csendes-óceán vízminőségét ellenőrző kutatók Oregon partjainál: a vízben magas koncentrációban találtak koffeint. Nem meglepő, hogy más hulladékokhoz hasonlóan a koffein is a városi csatornarendszeren keresztül jut el az óceánig, az viszont egyelőre nem tisztázott, jelenléte a tengervízben hogyan hat az emberi egészségre és a vízi ökoszisztémákra. A kagylók jelentik az egyetlen kivételt: laboratóriumi vizsgálatok bizonyították, hogy sejtjeiket károsítja a vízben lévő koffein [10].

3. A VIZSGÁLT TALAJMINTÁK TULAJDONSÁGAI

Vizsgálataink során három különböző féle talajmintával dolgoztunk:

- Mályi agyag
- Ceglédi vályog
- Nyírteleki homokos vályog.

Szándékosan több típusú anyagot választottunk, melyek egyre növekvő szivárgási tényezővel rendelkeznek (1. Táblázat).

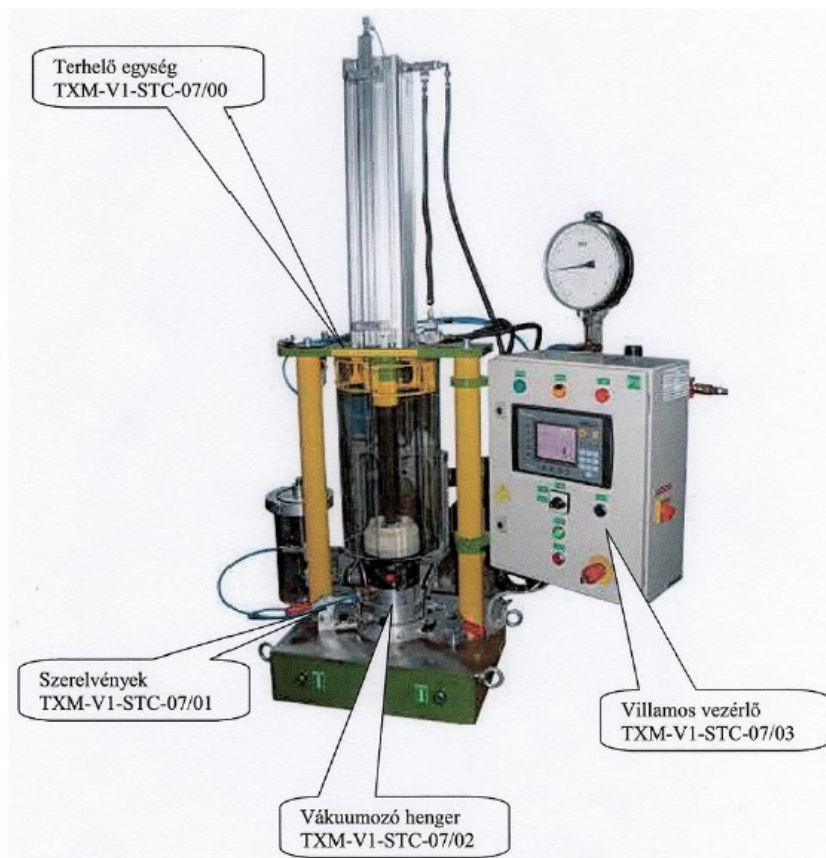
1. Táblázat. A különböző talajminták tulajdonságai

	Mályi agyag	Ceglédi vályog	Nyírteleki homokos vályog
Vízfelvevő képesség [%]	82,4	61,6	44,5
Kation csere kapacitás [mgeé]	27,71	41,98	9,02
Szerves anyag tartalom [%]	1,11	1,61	0,62

	Mályi agyag	Ceglédi vályog	Nyírteleki homokos vályog
Proctor vizsgálattal meghatározott optimális víztartalom [%]	18%	14%	14%
Szivárgási tényező [m/s]	$9,96 \cdot 10^{-10}$	$2,19 \cdot 10^{-9}$	$1,94 \cdot 10^{-9}$

Mintatestek konszolidálása: A talajminták további előkészítését a mérés folyamán, a talajminta formázó és konszolidáló eszköz segítségével végeztük, amely a permeabiméterben végzett vizsgálatokhoz szükséges. A minták konszolidálását egy STC system grup E.C. által gyártott TXM-V1-STC-07 típusú berendezésen végeztük (1. ábra), amely lehetőséget ad arra, hogy a mintatestek egyforma körülmények (azonos idő, nyomás) között legyenek előállítva.

Konszolidáció az az időben lejátszódó folyamat melynek során a pórusvíz kinyomódik a talaj pórusaiból, a teljes feszültségek hatékonyává válnak, és a térfogatváltozás lejátszódik.



1. ábra. A konszolidáló gép főbb berendezései

2. Táblázat. A konszolidált mintatestek paraméterei

Minta neve	Magasság [cm]	Átmérő [cm]
Mályi agyag	4	10
Ceglédi vályog	3	10
Nyírteleki homokos vályog	3	10

Miután a talajok konszolidációja megtörtént, a mintákat beépítettük egy Wille Geotechnik GmBh által gyártott flexibilis falú permeabiméterbe. Elsőként a minták szivárgási tényezőjét határoztuk meg (2. Táblázat), majd miután ezt megmértük az átnyomott vizet lecseréltük a koffein oldatra és vizsgáltuk bizonyos időközönként az átfolyó víz koffein koncentrációját HPLC segítségével.

4. ADSZORPCIÓS MÉRÉSEK EREDMÉNYEI

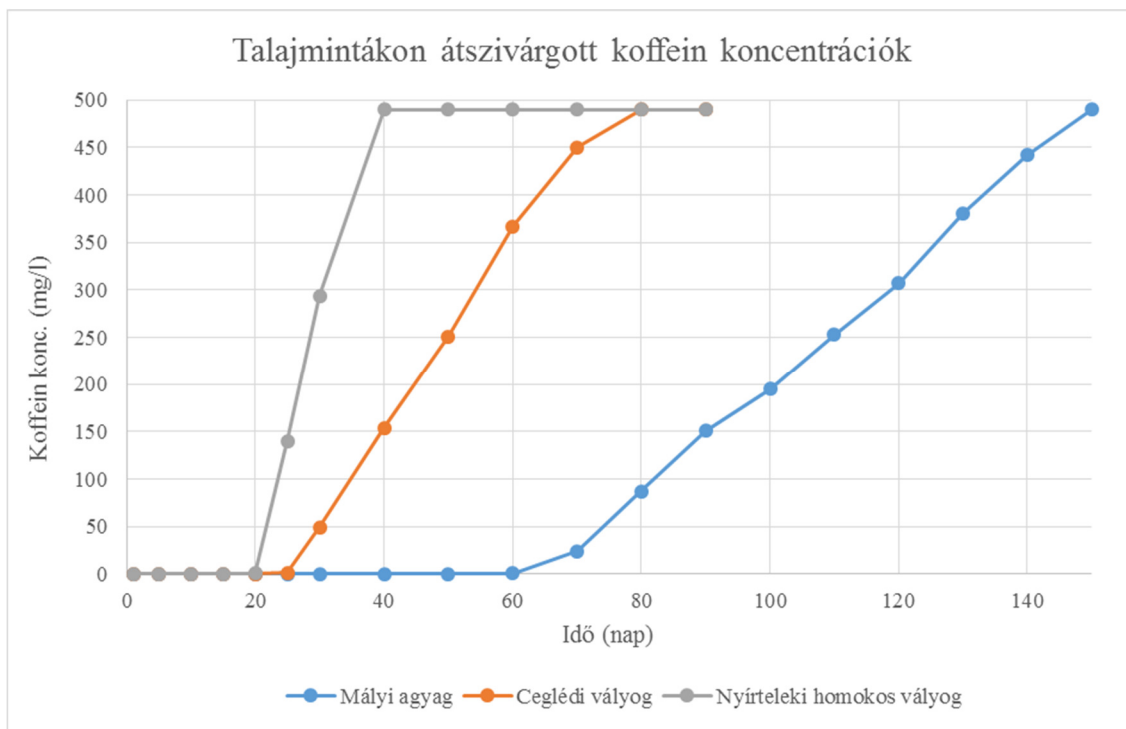
A 490 mg/l-es töménységű koffeines oldatot több mint öt hónapon keresztül folyamatosan szivárogtattuk át a mintatesteken. Az átszivárogtatás függőleges irányban, állandó nyomáson ment végbe, az oldalszivárgást megakadályozva.

Miután átfolyt elegendő oldat a mintákon, az átszivárogtatott oldatokat a már említett HPLC-folyadékromatográf segítségével vizsgáltuk. Külön megvizsgáltuk a feladott oldat koffein tartalmát, majd egyesével a különböző talajokon átfolyt minták koffein tartalmát is, melyből könnyedén következtethetünk a talajok által megkötött koffein-tartalomra. Az eredményeket pedig a következő táblázatban foglaltam össze

3. Táblázat. A HPLC-vel kapott eredmények a talajmintákon átfolyt koffein koncentrációra

Mérési időpont (nap)	Mályi agyag	Ceglédi vályog	Nyírteleki homokos vályog
1	0	0	0
5	0	0	0
10	0	0	0
15	0	0	0.2
20	0	0	0.6
25	0	1.5	140
30	0	49	294
40	0	154	490
50	0	258	490
60	0.5	367	490
70	24	450	490
80	87	490	490
90	151	490	490
100	195		
110	253		
120	307		
130	381		
140	442		
150	490		

A fenti táblázatból jól látható, hogy a mérés során már csak a mályi agyag volt képes legtovább adszorbeálni a koffeint. A másik két mintánál sikerült elérni azt a mérési időt, aminél már áttört teljesen a koffein (2. ábra). A ceglédi vályog fokozatosan engedte át a koffeint, míg a nyírteleki homokos vályog egy darabig adszorbeálta, aztán hirtelen történt áttörés, miután már egyre nagyobb és nagyobb mértékben engedte át.



2. ábra. Az átszivárgott koffein-koncentráció az idő függvényében.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy ha egy talaj megfelelően alacsony szivárgási tényezővel rendelkezik, még nem jelenti azt, hogy megfelelő a szervesanyag-visszatartó képessége is. Méréseim ezt jól láthatóan igazolták is, hiszen a legkisebb szivárgási tényezővel a mályi minta rendelkezett, ezt követte a nyírteleki homokos vályog, majd a legnagyobb szivárgási tényezője a ceglédi vályognak volt, mégis a legjobb koffein-megkötő tulajdonsággal a mályi és a ceglédi minták bírtak. Ez nagy valószínűséggel pedig a szervesanyag-tartalommal és a kationcsere-kapacitásukkal van összefüggésben.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során teljesítettük mindazokat a célokat, amelyeket a különböző tulajdonságú mintatestek koffein visszatartó képességének vizsgálatakor kitűztünk. Annak érdekében, hogy a vizsgálatainkat megtervezzük és az EDC anyagokról megfelelő ismerettel rendelkezünk, a hazai és a külföldi szakirodalomból gyűjtöttünk ismeretanyagokat. Külön kitértünk az általunk alkalmazott koffeinre is.

Mindhárom mintatest legfontosabb paramétereit megmértük (kation csere kapacitás, szerves anyag tartalom stb.), majd méréseket végeztünk mindhárom mintatestre flexibilis falú permeabiméterrel, hogy meghatározzuk a szivárgási tényezőjüket. Ezt követően azonos koncentrációjú koffein oldatokat szivárogtattunk át a mintatesteken. Az átszivárgott oldatok koffein koncentrációját pedig HPCL segítségével detektáltuk.

A mérési eredmények igazolták, hogy az általunk kiválasztott három különböző talajminta rendelkezik koffein visszatartó képességgel, továbbá megerősítették, hogy az alkalmazott mérési elrendezés és műszeres analitikai vizsgálat jól alkalmazható ECD anyagok ilyen célú laboratóriumi transzportfolyamatainak a nyomon követésére, modellezésére.

Méréseink során igazolódott, hogy a magasabb szervesanyag-tartalom, valamint kationcsere-kapacitás hozzájárul a talajok fokozatos koffein-megkötő képességéhez. Szintén nem elhanyagolható mértékben játszhat szerepet a talajok megkötő képességében azok

vízfelvevő képessége. A legmagasabb vízfelvevő-képességgel ugyanis a mályi agyag rendelkezett, és ez volt az egyetlen talajminta a hárból melynél nem sikerült elérni a koffein áttörési szintjét.

Vizsgálati eredmények alapján elmondható, hogy az esetlegesen felszíni vagy felszín alatti vizes rendszerekbe bekerülő koffeint csak bizonyos ideig képes a vízzáró/vízrekesztő réteg visszatartani, de amint ezen rétegek telítődése megtörténik már koffein szempontjából áteresztővé válik, így fontos a felszín közeli rétegvizes vízadó összletek vizsgálata EDC anyagokra. A jövőben szeretnék vizsgálatainkat kibővíteni más talajtípusokra, valamint más EDC anyagokat is alkalmazni a kutatásaink során.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, a "Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése" című GINOP-2.3.2-15-2016-00010 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZÚCS PÉTER, MIKITA VIKTÓRIA** (2016): *Felszín alatti vízkészleteink és a hidrogeológiai kutatások helyzete hazánkban*. Hidrológiai Közlöny 96:(1) pp. 7-20.
- [2] **SZUCS P, MADARASZ T.** (2013): *Hydrogeology in the Carpathian basin – how to proceed?* European Geologist 35: pp. 17-20.
- [3] **RODNEY, R. Dietert** (2015): *Endocrine Disruption and Human Health* 257.-272. és Philippa D. Darbre 24.-75., 273.-285. – www.sciencedirect.com
- [4] **JUVANCZ Z.** (2011): *Hormonháztartást megzavaró anyagok* www.zoldjovo.hu/documents/2011zoldjovomonitorEDC.pdf
- [5] **JUVANCZ Z., BARNA S., GYARMATHY D., KONORÓT F.,** (2008): *Study of Endocrine Disrupting Chemicals in Environment* (www.uni-obuda.hu/journal/Juvancz_Barna_Gyarmathy_Konorot_15.pdf)
- [6] **JOHNSON A. C., BELFROID A. and DI CORCIA A.** (2000): *Estimating steroid oestrogen inputs into activated sludge treatment works and observations on their removal from the effluent*. Sci. Total Environ. 256
- [7] **GERGELY P., PENKE B., TÓTH Gy.** (1997): *Szerves és bioorganikus kémia*
- [8] **KNOLL J.** (1965): *Gyógyszertan*. Medicina.
- [9] www.eufic.org/article/hu/taplalkozas/funkcionalis-elelmiszerek/artid/Koffein-egeszseg/
- [10] <http://www.tisztajovo.hu/kornyezetvedelem/2012/08/09/koffein-a-csendes-oceanban>

FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY I.
A fényképeket készítette: Mikolai Márk
MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI
RÉGIÓBAN 2017 KONFERENCIA



FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY II.
A fényképeket készítette: Mikolai Márk
MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI
RÉGIÓBAN 2017 KONFERENCIA



FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY III.

A fényképeket készítette: Mikolai Márk

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2017 KONFERENCIA



FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY IV.
A fényképeket készítette: Mikolai Márk
MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI
RÉGIÓBAN 2017 KONFERENCIA

